

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
Архитектурно-строительный факультет
Кафедра строительных материалов и конструкций

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические рекомендации

по выполнению курсового проекта,
для студентов специальности
08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений

Краснодар
КубГАУ
2020

Составители: Д. В. Лейер, А. К. Рябухин, С. И. Маций

Конструкции из дерева и пластмасс : метод. рекомендации / Д. В. Лейер, А. К. Рябухин, С. И. Маций. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 72 с.

В методических рекомендациях приведены основные сведения о свойствах и характеристиках деревянных и пластмассовых конструкций, необходимые для выполнения расчетов и проектирования, соответствующих действующим СНиП, СП и другим нормативным документам. Представлены задания и требования к выполнению курсовых проектов, расчетно-графических, курсовых и контрольных работ. Приведены общие понятия о конструкциях из дерева и пластмасс, рассмотрены особенности их работы. Теоретический материал сопровождается необходимыми рисунками и схемами.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского госагроуниверситета, протокол №1 от 21.04.2020 г.

© Лейер Д. В., Рябухин А. К.,
Маций С. И., составление, 2020
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ	5
1.1 Общие указания и области применения деревянных конструкций.....	5
1.2 Материалы и изделия, применяемые в строительстве	5
1.2.1 Древесина	5
1.2.2 Древесные пластики	6
1.2.3 Синтетические материалы	6
1.2.4 Металлы.....	6
1.2.5 Неорганические конструкционные материалы.....	6
1.3 Конструкционная древесина.....	7
1.4 Конструкционные пластмассы	13
1.5 Защита древесины от гниения и горения	19
1.6 Расчет по предельным состояниям	23
2 ЭЛЕМЕНТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	25
2.1 Растянутые элементы	25
2.2 Сжатые элементы.....	27
2.3 Изгибаемые элементы	30
2.4 Косоизгибаемые элементы.....	32
2.5 Сжато-изгибаемые элементы.....	33
2.6 Растянуто-изгибаемые элементы	34
2.7 Смятие древесины.....	36
2.8 Скалывание древесины	37
2.9 Конструктивные врубки.....	39
2.10 Стальные связи.....	41
3 ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	47
3.1 Содержание курсового проекта и курсовой работы.....	47
3.2 Оформление расчетно-пояснительной записки	47
3.3 Оформление графического материала курсового проекта	48
3.4 Задание на выполнение курсового проекта.....	48
4 ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	59
5 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	61
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	63
ПРИЛОЖЕНИЯ	64

ВВЕДЕНИЕ

В век железобетонных, бетонных и металлических конструкций все меньше уделяется внимания конструкциям из древесины. Однако, изучив достоинства этого конструкционного материала можно сделать вывод, что использование древесины, как конструкционного материала, имеет широкие возможности. В настоящее время все больше распространяется строительство зданий и сооружений из деревянных конструкций и изделий. Причем область применения очень обширна: от быстровозводимых индивидуальных домов до большепролетных сооружений. Так в чем же преимущество деревянных конструкций?

В процессе исследования эффективности древесины, как конструкционного материала можно указать следующие преимущества: снижение в атмосфере CO_2 ; самовозобновляемость; высокая теплоизоляция; производство и потребление древесины ведет к снижению энергопотребления и негативного влияния на окружающую среду; возможность термической утилизации, биологическое разложение и дальнейшее повторное включение в природный цикл; низкие плотность и масса элементов; хорошие акустические свойства; способность регулировать влажность в помещении; благоприятные механические свойства для обработки и создания соединений и деталей; эстетические качества; нейтральные магнитные и электромагнитные свойства; низкий уровень естественной радиации; экономичность; возможность строительства без специального оборудования и строительных машин; максимальное ограничение влажных процессов на стройке [10].

В предлагаемых методических указаниях приведены примеры расчета и задания для самостоятельной работы по конструированию современных деревянных конструкций и конструкций с применением пластмасс. Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов строительных специальностей, выполняющих курсовые и дипломные проекты. В основу проектирования и расчета положены действующие СНиПы, СП и другие нормативные документы [1-3], а так же наиболее распространенные научные источники [4-10].

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1.1 Общие указания и области применения деревянных конструкций

Деревянные ограждающие и несущие конструкции рекомендуется применять в зданиях и сооружениях различного назначения, возводимых в районах, лесной фонд которых по народнохозяйственному и природному значению отнесен к III или II группе, имеет эксплуатационное значение, а также в районах с развитой производственной базой по изготовлению деревянных конструкций. Для производственных помещений с агрессивной средой к стали и железобетону, при необходимости создания диэлектричности или «радиопрозрачности» зданий и сооружений, а также для мобильных сборно-разборных зданий заводского изготовления применение деревянных конструкций допускается во всех районах страны. Кроме того, из древесины можно выполнять опоры линий электропередачи и осветительных сетей, связи, а также временные здания и сооружения. Клееные деревянные конструкции рекомендуется применять для тех же условий при наличии специализированных заводов по их изготовлению и соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом следует учитывать, что клееная древесина наиболее эффективна для получения длинных элементов больших сечений, эффективного использования лесоматериалов различной сортности, удовлетворения требований к интерьеру, повышения огнестойкости и долговечности конструкций. Конструкции из дерева проектируют преимущественно сборными, заводского изготовления, с небольшим количеством типоразмеров унифицированных элементов. Они должны быть технологичны, малой трудоемкости при изготовлении, транспортабельны. Унификация элементов и частей конструкций особенно важна при проектировании деревянных клееных конструкций и их изготовлении на поточных линиях. Монтажные соединения элементов конструкций должны быть простыми, удобными для выполнения. Крепежные детали (болты, винты, вклеенные стержни) — из стали или высокопрочных пластмасс.

Одним из важных преимуществ использования древесины в строительстве — это почти безотходное производство. Отходы древесины, то есть пиломатериалы не отвечающие требованиям качества, можно использовать для производства древесноволокнистых, древесностружечных и цементно-стружечных плит, фибролитов, арболитов и так далее. В ограждающих конструкциях покрытий и стен одноэтажных зданий, а также галерей следует предусматривать легкие плиты и панели с деревянным каркасом и наружными полками (обшивками) из асбестоцементных плоских или волнистых листов и строительной фанеры, внутри помещений — из древесных плит. Деревянные конструкции применяются также в перекрытиях жилых и общественных зданий высотой не более двух этажей. Для продления срока эксплуатации древесины предусматривают конструктивные мероприятия и защитную обработку древесины.

1.2 Материалы и изделия, применяемые в строительстве

Для строительных деревянных несущих и ограждающих конструкций применяют цельную и клееную древесину, материалы, изготовленные на ее основе, а также синтетические и пластмассовые материалы, металлы и асбестоцемент.

1.2.1 Древесина

Деревянные конструкции изготавливают преимущественно из лесоматериалов хвойных пород (сосны, ели). Мягкие лиственные породы (осина, тополь) и широко распространенные твердые лиственные (береза, бук) используют взамен хвойных в конструкциях временных зданий и сооружений, а также, при обосновании, в капитальных зданиях. В клееных конструкциях лесоматериалы указанных пород можно использовать без ограничения, но при изменении технологии изготовления (операций сушки, склеивания). Твердые лиственные породы (дуб, граб) применяют для ответственных деталей: нагелей, вкладышей, подушек. При этом необходимо подбирать древесину прямослойную, без сучков и других пороков, влажностью не выше 12 %. Лесоматериалы в зависимости от

вида и пороков разделяют на сорта. Для несущих конструкций древесина должна удовлетворять требованиям 1-го, 2-го и 3-го сортов [1, 3]. Для деревянных элементов, соединяемых на гвоздях, древесину лиственницы и твердых пород применять не разрешается. Влажность древесины в конструкциях устанавливают в зависимости от температурно-влажностных условий эксплуатации. Сортамент круглого и пиленого лесоматериала с геометрическими характеристиками и плотность древесины приведены в приложении в табл. 1.

1.2.2 Древесные пластики

Для отдельных видов клееных несущих и ограждающих конструкций применяют фанеру марок ФСФ и ФК сортов В/ВВ, В/С и ВВ/С, фанерные профили и трубы. Фанерные изделия, склеенные на карбамидных клеях марки ФК, допускается применять в температурно-влажностных условиях эксплуатации А1, А2 и Б1. Бакелизованную фанеру марки ФБС применяют для ответственных конструкций или не защищенных от атмосферных воздействий. Древеснослоистые пластики марок ДСП-Б, ДСП-В используют для ответственных элементов деревянных конструкций, а также строительных диэлектрических. Древесноволокнистые плиты марок Тс-400 и Тс-450, древесностружечные марок ДСПк на карбамидном и ДСПф на фенольном клеях и на каустическом магнезите марки МДП, а также цементно-стружечные на портландцементе применяют для полов панелей стен и перегородок, плит покрытий и перекрытий. Древесностружечные используют также в качестве основания полов (на лагах и без них) с влагозащитной одеждой. В помещениях, предназначенных для пребывания людей, а также хранения пищевых продуктов, такие плиты допускаются только при наличии заключения о допустимых нормах выделения токсичных веществ. Поскольку плиты при поглощении влаги набухают и теряют прочность, их используют в основном в помещениях с температурно-влажностным режимом эксплуатации А1, А2, Б1, защищают от влаги и гниения. Сортамент древесных пластиков и их плотность приведены в приложении в таблицах 2 и 7.

1.2.3 Синтетические материалы

В отдельных случаях (химически агрессивных средах, безметалльных конструкциях) применяют листовые полиэфирные стеклопластики по МРТУ 6-11-134-69 или стеклотекстолита марок КАСТ-В и СТЭФ. Для изготовления ответственных деталей, например болтов и стержней, применяют стеклопластик АГ-4С. Для изготовления клееных деревянных конструкций, а также вклеивания или приклеивания отдельных деталей используют синтетические клеи. Составы и марки их выбирают в зависимости от условий эксплуатации, области применения.

1.2.4 Металлы

В деревянных конструкциях для соединительных или других отдельных элементов применяют сталь малоуглеродистую, группа которой зависит от степени ответственности.

1.2.5 Неорганические конструкционные материалы

В конструкциях из дерева и пластмасс применяют также следующие неорганические конструкционные строительные материалы. Сталь малоуглеродистая средней прочности, плотность 7850 кг/м^3 , предел текучести 275 МПа , модуль продольной упругости $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Сталь изготавливают в виде листов, прокатных и гнутых профилей, прутков и применяют для изготовления металлических элементов и соединений конструкций.

Алюминий, деформируемый и поддающийся обработке давлением, марок АМц, АМг, АВ и др. Плотность алюминия значительно меньше, чем у стали, и равна 2640 кг/м^3 , модуль упругости $E = 7,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, а средняя прочность 150 МПа . Из алюминия изготавливают плоские и гофрированные листы, прокатные и гнутые профили. Алюминий намного более стоек, чем сталь, против коррозии во влажной среде и его применяют для обшивок легких трехслойных плит и панелей покрытий и стен различных зданий, а также для изготовления элементов и соединений конструкций.

Асбестоцемент, который состоит из смеси асбестовых волокон с цементным камнем. Изготавливают в виде волнистых и плоских листов толщиной 6 – 10 см и длиной 1,5; 3,0; 1,7 и 3,3 м и гнутых профилей. Средняя плотность 1800 кг/м³, средняя прочность при сжатии невелика и равна 1,5 МПа, а при растяжении еще ниже, модуль упругости $E=600$ МПа. Асбестоцемент негорюч, однако хрупок и гигроскопичен. Применяют в основном в качестве листов кровли и обшивок трехслойных ограждающих конструкций

1.3 Конструкционная древесина

Древесина – ценный конструкционный строительный материал, продукт лесов, запасы которого могут возобновляться после его рациональных заготовок. Обширные леса занимают почти половину территории России. Таким образом, по площади лесов наша страна находится на первом месте в мире. Основная масса лесов, около 3/4, расположена в районах Сибири, Дальнего Востока и в северных областях европейской части страны. Почти 3/4 наших лесов состоят из наиболее ценных для строительства хвойных пород. Из них 2/5 лесов занимает лиственница, 1/6 – сосна, 1/8 – ель, меньше – пихта и кедр. Лиственные породы составляют около 1/4 площади лесов. Наиболее распространенной лиственной породой является береза, занимающая около 1/6 площади лесов. Дуб, бук и осина распространены меньше.

Заготавливают лес в виде отрезков стандартной длины. Из него изготавливают пиленые материалы, фанеру, древесные плиты, деревянные конструкции и строительные детали. Количество древесины, заготавливаемой в нашей стране, обеспечивает потребности в деревянных строительных конструкциях и деталях. При лесозаготовках и обработке древесины образуется большое количество отходов, эффективное использование которых имеет большое хозяйственное значение. Изготовление из отходов древесины изоляционных древесноволокнистых, древесно-стружечных плит, широко применяемых в строительстве, позволяет экономить большое количество деловой древесины.

Хвойную древесину используют для изготовления основных элементов деревянных конструкций и строительных деталей. Из прямых высоких стволов хвойных деревьев с небольшим количеством сучков относительно небольшой величины можно получить прямослойные пиломатериалы с ограниченным количеством пороков. Хвойная древесина содержит смолы, благодаря чему она лучше сопротивляется увлажнению и загниванию, чем лиственная. Наиболее высоким качеством отличается сосновая древесина, особенно из северных районов страны, где деревья растут медленно и дают более прочную древесину. Еловая древесина близка по качеству к сосне, пихтовая и кедровая имеет несколько меньшую прочность. Древесина лиственницы по прочности и стойкости против загнивания превосходит сосновую, но имеет пониженную прочность на скалывание.

Лиственная древесина большинства пород имеет больше сучков и более подвержена загниванию, чем хвойная. Она почти не применяется для изготовления основных элементов деревянных строительных конструкций. Дубовая древесина выделяется среди лиственных пород повышенной прочностью и стойкостью против загнивания. Однако ввиду большей дефицитности и стоимости ее используют в строительных конструкциях только для небольших соединительных деталей. Березовая древесина относится тоже к твердым лиственным породам. Ее используют главным образом для изготовления строительной фанеры (нуждается в защите от загнивания). Осиновая, тополевая и другая древесина мягких лиственных пород имеет пониженную прочность и стойкость против загнивания и используется для изготовления малонагруженных элементов временных зданий и сооружений. Лесоматериалы, предназначенные для строительства, делят на круглые и пиленые (рис. 1.1).

Круглые лесоматериалы (бревна) представляют собой части древесных стволов с гладко опиленными концами – торцами, очищенные от сучьев. Они имеют стандартные длины, равные 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 и 6,5 м. Более длинные бревна выпиливают только для опор линий электропередач и связи, а также по особым заказам. Бревна имеют естественную усеченно-коническую форму. Уменьшение их толщины по длине называется *сбегом*. В среднем сбег составляет 0,8 см на 1 м длины бревна. Толщина бревна определяется диаметром его тонкого верхнего торца. Средние бревна имеют толщину 14–24 см, а крупные – 26 см и более с градацией размеров через 2 см. Бревна толщиной 13 см и менее называют также *подтоварником* и применяют их для временных

построечных сооружений. Круглые лесоматериалы используют в основном при построечном изготовлении деревянных конструкций.

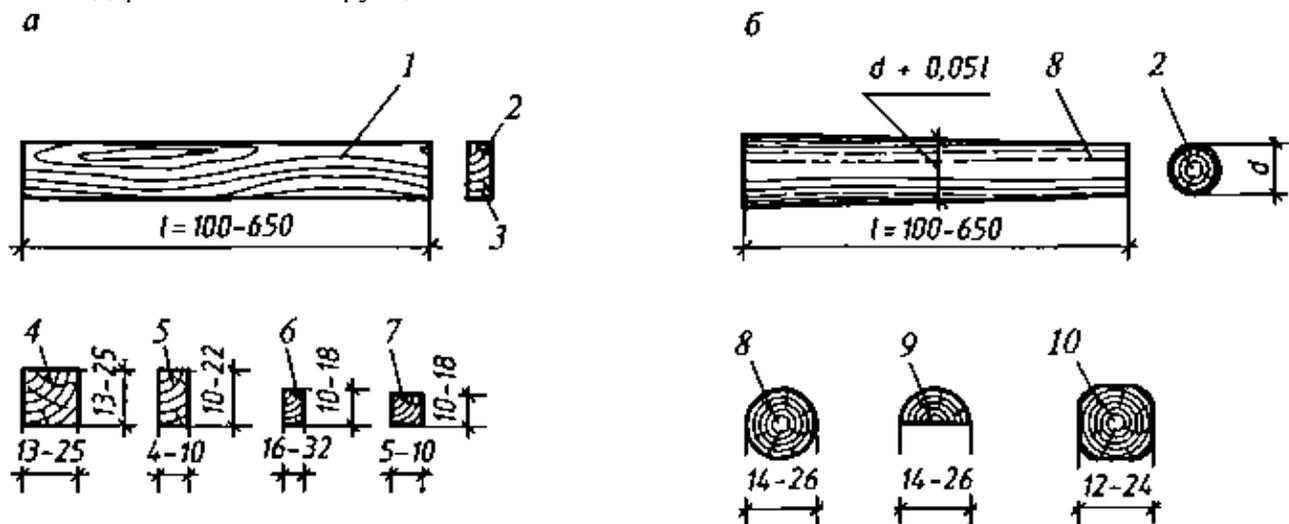


Рисунок 1.1 – Лесоматериалы: а – пиленые; б – круглые; 1 – пласть; 2 – торец; 3 – кромка; 4 – брус; 5 – толстая доска; 6 – тонкая доска; 7 – брусок; 8 – бревно; 9 – пластина; 10 – бревно окантованное

Пиленые лесоматериалы (пиломатериалы) получают в результате продольной распиловки бревен на лесопильных рамах или круглопильных станках. Они имеют прямоугольное или квадратное сечение. Более широкие стороны пиломатериалов называют *пластями*, а узкие – *кромками*. Пиломатериалы с поверхностями, опиленными по всей длине, называют *обрезными*. Если часть поверхности не опилена в результате сбег бревна, материал называют *обзолным*. Если не опилены две поверхности пиломатериала при однократной распиловке бревна, его называют *необрезным*.

Пиломатериалы имеют стандартные длины от 1 до 6,5 м с градацией размеров через каждые 0,25 м. Их разделяют на доски, бруски и брусья. Рекомендуемые для несущих конструкций доски имеют ширину 60 – 250 мм, толщину – 11 – 100 мм; бруски – ширину 100– 175 мм, толщину – 50– 100 мм. Брусья имеют ширину, не превышающую полуторной толщины. Их толщина и ширина составляют 125 – 250 мм.

Пиломатериалы шириной или толщиной более 150 мм в центральных районах страны являются дефицитными, поэтому применяются ограниченно. Деревянные конструкции и строительные детали изготовляют, как правило, из пиломатериалов. Рекомендуемый сортамент пиломатериалов для несущих деревянных конструкций приведен в приложении 2.

Строение, пороки и качество древесины определяются ее происхождением. В результате растительного происхождения и условий произрастания дерева древесина имеет трубчатое *слоистоволокнистое строение*. Основную массу древесины составляют древесные волокна, расположенные вдоль ствола. Они состоят из удлиненных пустотелых оболочек отмерших клеток – трахеидов – почти прямоугольной формы, средней шириной 50 мкм и длиной 3 мм из органических веществ (целлюлозы и лигнина).

Древесные волокна располагаются концентрическими слоями вокруг оси ствола, которые называют *годовыми слоями*, потому что каждый слой нарастает в течение года. Они хорошо заметны в виде ряда колец на поперечных разрезах стволов, особенно хвойных деревьев, и по их количеству можно определить возраст дерева. Каждый годичный слой состоит из двух частей. Внутренний более широкий и светлый слой образуется из мягкой ранней древесины весной, когда дерево растет быстро. Клетки ранней древесины имеют более тонкие стенки и широкие полости. Наружный узкий темный слой состоит из более твердой поздней древесины, образующейся летом. Клетки поздней древесины имеют более толстые стенки и узкие полости. Плотность и прочность древесины зависят от относительного содержания в ней поздней древесины, которое у сосны, например, колеблется от 10 до 30 % (рис. 1.2).

Средняя часть стволов сосны, кедра и лиственницы имеет более темный цвет, содержит

больше смолы и называется *ядром*. Вокруг ядра расположена менее смолистая, но более прочная древесина, называемая *заболонью*. Кроме этих основных частей в древесине имеются горизонтальные сердцевинные лучи, мягкая сердцевина, смоляные ходы, сучки и снаружи она покрыта рыхлой корой.

Качество лесоматериалов определяется в основном степенью однородности строения древесины, от которой зависит ее прочность. Неоднородность строения древесины возникает в процессе роста дерева, хранения лесоматериалов на складах, сушки, обработки и в процессе эксплуатации конструкций. Степень однородности древесины определяется размерами и количеством участков, где однородность ее строения нарушена и прочность снижена. Такие участки называют *пороками*. Основными недопустимыми пороками древесины являются гниль, червоточина и трещины в зоне скалывания в соединениях. Наиболее распространенными и неизбежными пороками древесины являются сучки – заросшие остатки бывших ветвей дерева. Основные волокна древесного ствола, ранее образовавшие сучок, затем обходят его, отклоняясь в этом месте от своего продольного направления и образуя так называемый *завиток*. Сучки являются допускаемыми пороками, но их размеры строго ограничены.

Наклон волокон относительно оси элемента, называемый иногда *косослоем*, тоже является распространенным и допускаемым (с ограничениями) пороком. Он образуется в результате иногда возникающего природного винтообразного расположения волокон в стволе, а также при распиловке конусообразной формы стволов, так называемого *сбега*. Трещины, возникающие при высыхании древесины, тоже относятся к числу ограниченно допускаемых пороков. К порокам относятся также мягкая сердцевина, выпадающие сучки и другие менее распространенные нарушения однородности строения древесины.

Качество конструкционных лесоматериалов определяется сортами (1, 2 и 3). Требования к древесине каждого сорта содержатся в ГОСТах. Основными факторами, определяющими сорт и соответственно прочность древесины, являются величина и расположение пороков, главным образом сучков и наклона волокон в элементе. В наиболее прочной древесине 1-го сорта допускаются сучки общим диаметром на длине 20 см, не более четверти ширины пласти доски – $d < 1/4 b$ и наклон волокон не более 7 %. В древесине средней прочности 2-го сорта допускается относительно большая общая ширина сучков – $d < 1/3 b$ и наклон волокон не более 10 % к оси. В наименее прочной древесине 3-го сорта допускаются сучки еще большей ширины – $d < 1/2 b$ и наклон волокон не более 15 % (рис. 1.3). Кроме того, в конструкционной древесине ширина годовых слоев должна быть не более 5 мм и поздняя наиболее прочная древесина должна составлять не менее 1/5 их ширины. В досках, работающих на ребро при изгибе, не допускается рыхлая сердцевина. В зонах соединений не должно быть трещин. Древесину 1-го сорта, наиболее прочную, рекомендуется применять для изготовления ответственных элементов конструкций, работающих на растяжения, и растянутых зон высоких клеедеревянных балок, древесину средней прочности 2-го сорта – для прочих элементов несущих строительных конструкций, наименее прочную древесину 3-го сорта – в малонапряженных настилах и обшивках.

Свойства древесины определяются в основном ее строением. Древесина по своей массе относится к классу легких конструкционных материалов. Ее малая масса объясняется трубчато-волокнистым строением и зависит от относительного объема отверстий и содержания в них влаги, кроме воздуха. Плотность древесины определяется при относительной влажности 12%. Она различна в пределах одной породы и одного ствола. Свежесрубленная древесина сосны и ели имеет плотность 850 кг/м³. Расчетная плотность этой древесины в составе конструкций, эксплуатируемых в помещениях с нормальной влажностью воздуха, принимается равной 500 кг/м³, в помещениях с влажностью воздуха более 75 % и на открытом воздухе – 600 кг/м³ (см. приложение 3).

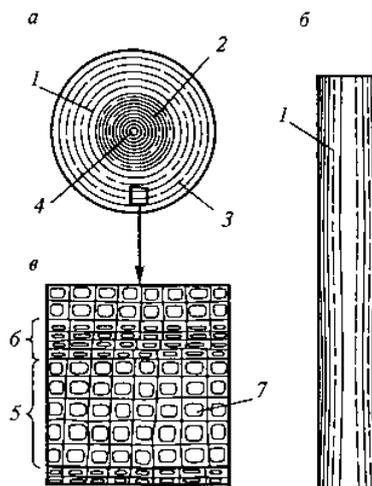


Рисунок 1.2 – Строение хвойной древесины: а – поперечное сечение ствола; б – пласть доски; в – микроструктура; 1 – волокна древесины; 2 – ядро; 3 – заболонь; 4 – сердцевина; 5 – ранние годовые слои; 6 – поздние годовые слои; 7 – клетки-трахеиды

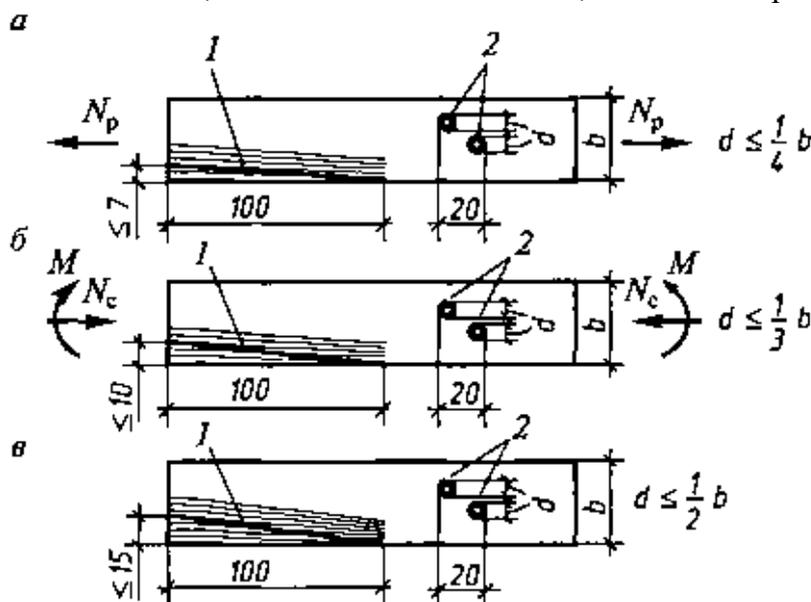


Рисунок 1.3 – Сорта пиломатериалов по качеству древесины, определяемому основными пороками: а, б, в – 1, 2 и 3-й сорта; 1 – наклон волокон; 2 – сучки

Древесина является среднепрочным анизотропным конструкционным материалом, однако ее относительная прочность с учетом малой собственной массы позволяет применять ее в несущих конструкциях больших пролетов. Прочность древесины определяется ее трубчато-волокнистым анизотропным строением и зависит от породы, расположения в стволе и процентного содержания наиболее прочной поздней древесины.

Прочность древесины в значительной степени зависит от направления действия усилий по отношению к направлению волокон. При действии усилий вдоль волокон оболочки клеток работают в самых благоприятных условиях и древесина имеет наибольшую прочность. Например, средний предел прочности древесины сосны без пороков составляет при растяжении 100 МПа, при изгибе – 75 МПа и при сжатии – 40 МПа.

При действии же усилий поперек волокон они легко сплющиваются или расслаиваются, поэтому прочность древесины при растяжении, сжатии и скалывании в этом случае не превышает

МПа. Неоднородность строения, наличие пороков значительно (примерно на 30 %) снижают прочность древесины при сжатии и изгибе, а особенно (примерно на 70 %) при растяжении.

Длительность действия нагрузки существенно влияет на прочность древесины. При

неограниченно длительном нагружении ее прочность, характеризуемая пределом длительного сопротивления, составляет только 0,5 от предела прочности при стандартном кратковременном нагружении. Наибольшую прочность, в 1,5 раза превышающую кратковременную, древесина имеет при кратчайших ударных и взрывных нагрузках.

Вибрационные нагрузки, вызывающие в древесине переменные по знаку напряжения, тоже снижают ее прочность. Предел выносливости, при котором древесина может выдерживать неограниченное количество циклов таких нагрузок, составляет 0,2 от предела прочности.

Жесткость и твердость древесины относительно невелики ввиду ее трубчато-волокнутого строения. Жесткость – степень деформативности древесины при действии нагрузок – существенно зависит от направления этих нагрузок по отношению к волокнам и их длительности, а также от влажности древесины. Деформации древесины бывают упругие (от кратковременных нагрузок), эластичные и остаточные (от длительных нагрузок). Упругие деформации исчезают вскоре после разгрузки, эластичные тоже исчезают через некоторый период времени, а остаточные остаются навсегда. Например, балки, прогнувшиеся во время длительной эксплуатации, не могут быть выпрямлены полностью при разгрузке.

Жесткость древесины определяется модулем упругости E . Его величина колеблется в значительных пределах и у лабораторных образцов древесины хвойных пород вдоль волокон достигает 15000 МПа. Модуль упругости реальной древесины любой породы в 1,5 раза ниже и принимается для конструкций, эксплуатируемых в нормальных температурно-влажностных условиях, равным 104 МПа. При повышенной влажности и на открытом воздухе он снижается коэффициентами от 0,9 до 0,75. Жесткость древесины при действии нагрузок поперек и под углом к волокнам в 50 раз ниже.

Соответственно мала и твердость древесины, которая выражается в ньютонах нагрузки, требуемой для вдавливания стальной полусферы радиусом 5,64 мм. Для древесины сосны поперек годичных слоев она равна только 1000 Н. Это свойство облегчает обработку древесины, но делает ее поверхность легко повреждаемой. Малая твердость и волокнутое строение дают возможность относительно легко забивать гвозди в древесину, которые прочно удерживаются окружающими волокнами, раздвинутыми острием гвоздей.

Влажность древесины оказывает значительное влияние на ее свойства. Влажность древесины w – это процентное содержание свободной воды в полостях и гигроскопической воды в порах древесины. Наибольшую влажность (до 200 %), набранную в период пребывания в воде, имеет сплавная древесина. Влажность до 100 % имеет свежесрубленная древесина. В процессе хранения на складах, естественной и искусственной сушки влажность древесины снижается до 40, 25, 20 и 10 %. Степень влажности значительно влияет на качество деревянных конструкций и строго ограничивается в зависимости от условий их изготовления и эксплуатации.

Древесину неограниченно высокой влажности можно использовать только для конструкций, постоянно соприкасающихся с водой. Из древесины влажностью до 40 % можно изготавливать конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе, влажностью до 25 % – конструкции, эксплуатируемые в помещениях с повышенной влажностью и соприкасающиеся с грунтом. Из древесины влажностью до 20 % можно изготавливать также клееные конструкции, эксплуатируемые в любых условиях, а влажностью 8 – 12 % – любые конструкции, в том числе клееные.

В процессе уменьшения или увеличения влажности до 30 % за счет гигроскопической влаги в оболочках клеток размеры деревянных элементов уменьшаются или увеличиваются. Происходит усушка или разбухание, которые тем больше, чем больше плотность древесины. Наибольшие усушка и разбухание происходят поперек волокон перпендикулярно годичным слоям и достигают 4%, а в тангентальном направлении – параллельно годичным слоям и достигают 10%. Наименьшие усушка и разбухание, не превышающие 0,3 %, происходят вдоль волокон. При дальнейшем увеличении влажности более 30 % за счет свободной влаги усушка и разбухание не наблюдаются.

Высыхание деревянного элемента и развитие деформаций усушки происходят неравномерно от поверхности к центру. Этот факт, а также разница величин радиальной и тангентальной усушки приводят к возникновению значительных остаточных напряжений растяжения в наружных и сжатия во внутренних частях элемента поперек волокон и в результате происходят коробление и растрескивание древесины (рис. 1.4). Коробление бывает продольным и поперечным. Поперечное

коробление проявляется в форме превращения квадратного сечения бруса в прямоугольное или ромбическое, а прямоугольного сечения доски – в желобчатое, изогнутое в сторону наружных годовых колец. Продольное коробление проявляется в форме выгиба досок по длине, а наличие наклона волокон по длине в доске приводит к тому, что она принимает винтообразную форму. Растрескивание древесины происходит в том случае, когда внутренние напряжения превышают малый предел прочности на растяжение поперек волокон и появляются наружные и внутренние трещины радиального направления.

Изменение влажности в пределах от 0 до 30 % существенно влияет на прочность и жесткость древесины. При увеличении влажности в этих пределах прочность древесины снижается до 30 % от максимальной. Дальнейшее увеличение влажности не приводит к снижению прочности древесины. Для сравнения показателей прочности и жесткости древесины независимо от ее влажности установлено значение стандартной влажности, равное 12 %. Влияние температуры на древесину и ее теплопроводность различны. При повышении температуры предел прочности и модуль упругости снижаются и повышается хрупкость древесины. Например, предел прочности при сжатии древесины сосны, нагретой от 20 до 50 °С, уменьшается в среднем до 70 %, а при нагревании до 100 °С – до 30 % от начального. При отрицательных температурах влага в древесине превращается в лед и прочность ее при сжатии возрастает, например, до 25 %, однако она становится более хрупкой и в ней развиваются трещины.

Строительная фанера является листовым древесным строительным конструкционным материалом. Она состоит из нечетного числа тонких слоев – шпонов – толщиной около 1 мм из древесины березы или лиственницы. Волокна соседних шпонов располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях. Наружные шпоны – рубашки – имеют взаимно параллельное направление волокон, вдоль которого измеряют длину листов. Средние шпоны называют срединками. В строительных конструкциях применяют фанеру клееную и бакелизованную.

Клееная фанера (рис. 1.5) состоит из слоев древесины (шпонов), которые склеивают между собой водостойкими клеями, например фенолформальдегидным. Получается водостойкая фанера марки ФСФ. При склеивании шпонов клеями типа карбамидных получается средневодостойкая фанера марки ФК, использование которой допускается только в помещениях без повышенной влажности воздуха. Водостойкую фанеру применяют в конструкциях зданий всех групп влажности воздуха. Листы клееной фанеры имеют толщину 6–12 мм. Наибольшее распространение в конструкциях находят листы семислойной фанеры толщиной 8, 9, 10 и 12 мм. Листы имеют длину 2440, 2135, 1525, 1220 мм и ширину 1525, 1220 и 725 мм.

Листовая форма является одним из главных преимуществ фанеры по сравнению с другими лесоматериалами. Благодаря этому ее с успехом применяют для изготовления легких эффективных покрытий и стен, а также емкостей и опалубки. Перекрестное расположение волокон слоев придает фанере меньшую анизотропию свойств в плоскости листов, чем у древесины, малую усушку и разбухание при колебаниях влажности, как у древесины вдоль волокон.

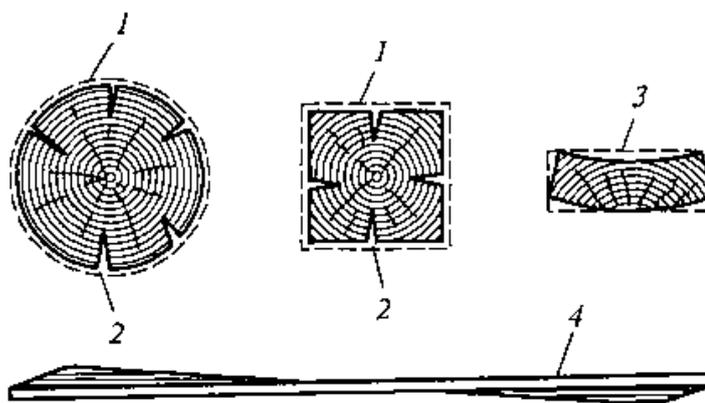


Рисунок 1.4 – Деформации лесоматериалов при усушке: 1 – уменьшение размеров сечений; 2 – растрескивание; 3 – поперечное коробление; 4 – продольное коробление

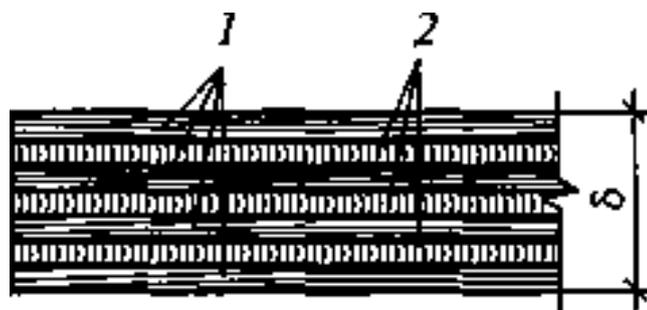


Рисунок 1.5 – Строительная фанера (деталь сечения):
1, 2 – соответственно продольные и поперечные слои

Прочность клееной фанеры вдоль волокон наружных слоев существенно выше, чем поперек, так как слоев с продольным направлением волокон на один больше, и наружные слои располагаются в зоне максимальных напряжений при изгибе. Прочность клееной фанеры при срезе по плоскостям сечений в 2,5 раза превышает прочность древесины при скалывании вдоль волокон, что является ее большим преимуществом. Прочность клеевых соединений фанеры при скалывании мала и не превышает $2/3$ прочности хвойной древесины при скалывании поперек волокон. Влияние пороков на прочность фанеры относительно ниже, чем в древесине, так как совпадение пороков, расположенных в отдельных слоях, маловероятно.

Влажность фанеры повышенной водостойкости не превышает 12%, а средней – 15 %. Жесткость фанеры, характеризуемая модулем упругости, определяется главным образом слоями, работающими вдоль волокон, и составляет для фанеры толщиной 8 мм и более около 90 % от жесткости древесины вдоль и 70 % поперек волокон. Бакелизованная фанера имеет такое же строение, как и клееная, однако ее наружные слои не только склеивают со средними, но и пропитывают водостойкими синтетическими спирторастворимыми смолами. Листы фанеры имеют толщину 5–18 мм, длину 1500 – 7700 мм и ширину 1200– 1500 мм. Она отличается от клееной фанеры более высокой водостойкостью и прочностью и применяется в конструкциях, работающих в особо неблагоприятных влажностных условиях. Прочность бакелизованной фанеры при нормальных напряжениях вдоль листов более чем в 2,5 раза, а поперек почти в 2 раза превышает прочность хвойной древесины вдоль волокон. Ее сопротивление срезу в 4,5 раза, а скалыванию в 1,5 раза выше сопротивления скалыванию древесины вдоль волокон. Жесткость бакелизованной фанеры поперек волокон наружных слоев близка к жесткости древесины вдоль волокон, а вдоль волокон наружных слоев в 1,5 раза выше. В настоящее время в нашей стране фанеру производят не только из древесины березы, но и хвойных пород.

1.4 Конструкционные пластмассы

Конструкционные пластмассы в строительстве применяют в составе элементов несущих и ограждающих строительных конструкций. Основой этих материалов являются синтетические полимерные смолы – продукты промышленности химических органических материалов. К ним относятся стеклопластики, пенопласты, оргстекло, винипласт, воздухо- и водонепроницаемые ткани и пленки и древесные пластики, синтетические клеи.

Из наиболее прочных стеклопластиков, расчетное сопротивление сжатию и растяжению которых достигает 100 МПа, выполняют основные элементы несущих строительных конструкций. Прозрачные стеклопластики используют в качестве светопрозрачных элементов ограждающих конструкций зданий. Из особо прозрачного оргстекла и прозрачного винипласта изготавливают прозрачные части ограждений, пропускающие все части солнечного спектра. Сверхлегкие пенопласты применяют в средних слоях легких ограждений покрытий и стен. Прочные, тонкие воздухо- и водонепроницаемые ткани используют в пневматических и тентовых покрытиях. Из полимерных пленок осуществляют временные покрытия закрытого грунта. Древесные пластики могут служить материалом для конструкций, работающих на открытом воздухе.

К положительным свойствам этих материалов относятся: малая плотность, не превышающая 1500 кг/м^3 , химическая стойкость в некоторых агрессивных средах; влагостойкость и неподверженность гниению. В процессе изготовления им можно придать ряд требуемых свойств и сделать элементы конструкций любой требуемой формы.

Основными недостатками конструкционных пластмасс является их малая жесткость (модуль упругости не превышает 104 МПа) и, следовательно, повышенная деформативность, не позволяющая полностью использовать их прочность. Сгораемость данных материалов ограничивает их применение в основных несущих конструкциях. Малая поверхностная твердость ведет к легкой повреждаемости конструкций. Ползучесть и старение в процессе эксплуатации приводит к повышению прогибов и уменьшению прозрачности ограждающих конструкций. В состав конструкционных пластмасс входит ряд компонентов.

Синтетические смолы являются основными компонентами пластмасс. Они образуют основную массу материалов, служат связующими аналогично цементному раствору в бетоне и делятся на два основных класса – термопластичные и термореактивные.

Термопластичные смолы (полиметилметакрилат, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен и др.) после завершения процесса синтеза и превращения в твердую стеклообразную массу способны под действием нагрева размягчаться, переходя в вязкотекучее состояние, а при охлаждении вновь возвращаться к твердому состоянию. Термопластичные смолы используют для изготовления листовых материалов (органическое стекло, винипласт), клеев для их склеивания, пенопластов, пленок.

Термореактивные смолы переходят из вязкотекучего в твердое состояние только один раз – в процессе отверждения. Этот процесс происходит под воздействием отвердителя или при нагреве или одновременно того и другого. После завершения процесса отверждения термореактивный материал не размягчается при последующем нагреве, а лишь незначительно теряет прочность и жесткость. В конструкционных пластмассах строительного назначения применяют следующие термореактивные смолы: фенолформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, мочевиноформальдегидные. Термореактивные смолы широко используют для изготовления фанеры, стеклопластиков, пенопластов, клеев, древесных пластиков, различных фасонных деталей.

При формировании полимера применяют и такие материалы, как отвердители, ускорители (вещества, ускоряющие отверждение), катализаторы (вещества, не участвующие в отверждении, но присутствие которых необходимо для протекания процесса отверждения), пластификаторы (вещества, уменьшающие хрупкость готового материала), ингибиторы (вещества, замедляющие процесс отверждения) и др.

Для улучшения механических и технологических свойств, повышения теплостойкости, снижения стоимости в пластмассовые материалы вводят наполнители неорганического и органического происхождения в виде порошков, волокон, листов (древесная мука, цемент, стеклянные и асбестовые волокна, бумага, хлопчатобумажные и стеклянные ткани и т.п.).

Пластмассовые материалы окрашивают путем введения красителей в массу материала. Для того чтобы получить нужный рисунок и цвет, необходимо предварительно нанести их на наружный слой листового наполнителя (бумагу, ткань). Порообразователи служат добавками для получения газонаполненных материалов – пенопластов. Наряду с пластмассами в конструкциях широко используют такие неорганические материалы, как алюминий, плакированную (защищенную) сталь, асбестоцемент.

Стеклопластик представляет собой материал, состоящий из двух основных компонентов: синтетического связующего и стеклянного волокна (наполнителя). Сущность изготовления стеклопластика состоит в том, что в неотвержденную смолу вводят стекловолокно, а затем смолу подвергают отверждению. Синтетическое связующее придает монолитность и обеспечивает стабильность формы готового стеклопластика; обеспечивает использование высокой прочности стекловолокна путем равномерного распределения усилий между волокнами и обеспечения их устойчивости, защиту волокон от атмосферных и других внешних воздействий; воспринимает часть усилий, возникающих в эксплуатационных условиях.

В стеклопластиках чаще всего используют термореактивные смолы (полиэфирную,

эпоксидную, фенолформальдегидную) с различными модифицирующими добавками, улучшающими технологические и эксплуатационные свойства стеклопластика.

Стекловолоконное волокно, или стекловолокно, – это армирующий элемент, который обеспечивает стеклопластику большую прочность и стойкость против ударов. Стекловолокно получается из расплавленной стеклянной массы специального состава, протянутой через мельчайшие отверстия – фильеры. Оно имеет микроскопический диаметр около 10 мкм, очень высокую прочность, достигающую 2000 МПа, и применяется в рубленом или непрерывном виде (см. приложение 4).

Рубленое стекловолокно – это масса коротких (до 50 мм) нарубленных из непрерывных, хаотически расположенных стекловолокон. Непрерывное стекловолокно – это волокна и нити, жгуты и ткани из него неограниченной длины.

Стойкость стеклопластиков против старения в атмосфере – появления трещин, снижения прочности и светопрозрачности – является вполне достаточной. После 20 лет эксплуатации на открытом воздухе никаких изменений в них не отмечается.

Стеклопластики бывают стораемыми и трудностораемыми. Специальные добавки в смолу придают им свойство самозатухания. Они могут быть светопрозрачными и светонепрозрачными. Стеклопластики разделяют на две группы: на основе рубленого или непрерывного волокна.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна являются изотропными материалами, одинаково прочными во всех направлениях благодаря хаотичному расположению коротких стекловолокон в их массе. Они имеют плотность до 1500 кг/м³, прочность при растяжении 150 МПа. Такая невысокая прочность по сравнению с высокой прочностью стекловолокна объясняется тем, что параллельно действию растягивающего усилия в нем располагается только незначительная часть наиболее напряженных коротких стекловолокон, а остальные направлены под разными углами и напряжены меньше. Кроме того, в работе на растяжение принимает участие менее прочная смола, через которую передается напряжение от одних волокон к другим.

Положительными качествами стеклопластиков на основе рубленых волокон являются простота их изготовления благодаря хаотичному расположению стекловолокна, относительно низкая стоимость, прозрачность. Прозрачный стеклопластик, выпускаемый в нашей стране, состоит из прозрачной полиэфирной термореактивной смолы и рубленого стекловолокна в количестве около 25 % по массе. Он имеет высокий коэффициент светопропускания (0,85), что достигается примерно одинаковыми значениями коэффициентов преломления света полиэфирной смолы и стекловолокна. Свет при этом пропускается рассеянно, обеспечивая равномерную освещенность помещений. Такой стеклопластик может быть бесцветным или иметь любую требуемую окраску.

Прозрачный стеклопластик выпускают в форме волнистых и плоских листов толщиной $\delta = 1,5 - 2,5$ мм, шириной до 1,5 м и длиной до 6 м. Волны имеют шаг $b_e = 60 - 200$ мм, высоту $h_e = 14 - 54$ мм и могут располагаться вдоль или поперек листа (рис. 1.7). В последнем случае лист может иметь длину, достигающую десятков метров, и свертываться в рулон. Эти размеры волн увязаны с размерами волн асбестоцементных и алюминиевых волнистых листов, что обеспечивает возможность их совместного применения.

Основным преимуществом прозрачного стеклопластика по сравнению с прочими листовыми материалами является его светопрозрачность, а по сравнению с листовым стеклом – отсутствие хрупкости и большая простота крепления. Его используют в виде отдельных волнистых листов, ребристых плит и панелей для создания светопрозрачных участков холодных и полутеплых покрытий и стен зданий.

Стеклопластик на основе непрерывных стекловолокон непрозрачен. Он состоит из термореактивных фенолформальдегидных и других смол и стекловолокон в виде отдельных волокон, стеклонитей или стекложгутов непрерывной длины. Стекловолокна располагаются в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях в количестве до 70 % по массе. Наиболее высокими механическими свойствами обладают стеклопластики, армированные прямыми непрерывными волокнами, например стекложгутами. Если все стекложгуты расположены только в одном направлении, то прочность стеклопластика при растяжении в этом направлении вдоль волокон является максимальной и может достигать 1000 МПа, а модуль упругости – 40 000 МПа. Однако в направлении, поперечном направлению стекложгутов, прочность стеклопластика невелика и приближается к

прочности неармированного связующего. Если стекложгуты уложены по двум взаимно перпендикулярным направлениям, то прочность и жесткость стеклопластика будет выше в том направлении, по которому уложена большая часть стекложгутов.

В нашей стране выпускают стеклопластик марки АГ-4С, армированный непрерывными стекловолокнами. Он имеет плотность примерно 1900 кг/м^3 , прочность при растяжении до 500 МПа и модуль упругости до 18 500 МПа. Этот стеклопластик используют для изготовления небольших болтов, фасонки, профильных и других деталей, конструкций, эксплуатируемых в химически агрессивной среде. Из него могут изготавливаться и несущие конструкции.

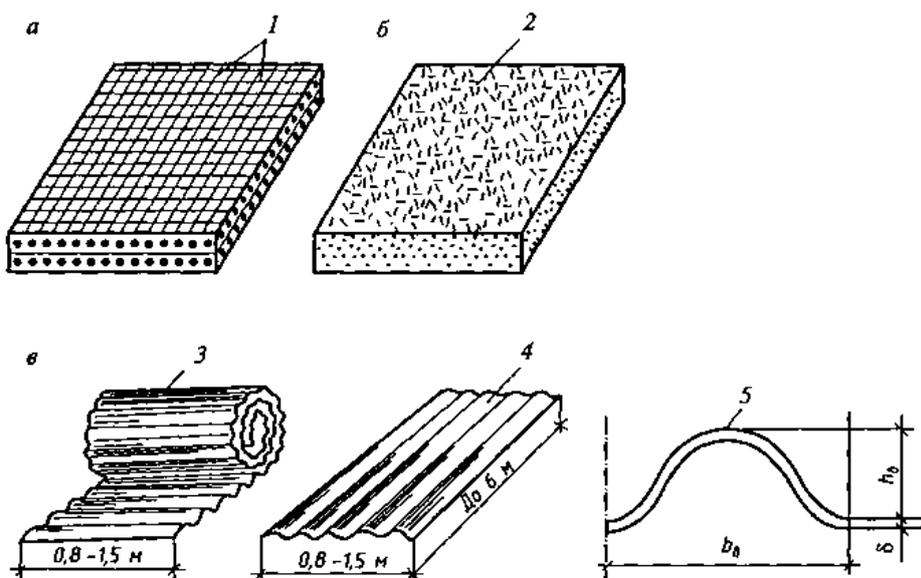


Рисунок 1.7 – Стеклопластики: а, б – плоский; в – волнистый; 1 – непрерывное стекловолокно; 2 – рубленое стекловолокно; 3 – поперечные волны; 4 – продольные волны; 5 – сечение волны

Пенопласты – это сверхлегкие газонаполненные конструкционные пластмассы. Они представляют собой твердую пену, состоящую из массы замкнутых ячеек, заполненных воздухом или безвредным газом со стенками из затвердевшей полимерной смолы. Синтетическим связующим в пенопластах служат термопластичные или термореактивные смолы. Из термопластичных полистирольных и поливинилхлоридных смол изготавливают пенополистиролы ПС-1, ПС-4 и ПСБ. Из термореактивных полиуретановых и фенолформальдегидных смол получают пенополиуретан ПУ-101 и пенополифенолформальдегид ФРП-1. Наполнителями являются газы, образующиеся в процессе пенообразования.

Пенопласты образуются путем горячего вспенивания термопластичных смол или введения в состав термореактивных смол отвердителей и пенообразователей в процессе их твердения. Прессовые пенопласты изготавливаются в установках высокого давления. Они имеют повышенную прочность и стоимость. Беспрессовые пенопласты вспениваются при обычном атмосферном давлении, являются менее прочными и более дешевыми. Особенно эффективно изготовление термопластичных пенопластов непосредственно в полостях ограждающих конструкций, например при формировании среднего слоя трехслойных плит и панелей.

Плотность пенопластов очень мала и находится у конструкционных видов в пределах $30\text{--}100 \text{ кг/м}^3$. У поверхности блоков она несколько выше, чем в середине, благодаря меньшим размерам газосодержащих ячеек (рис. 1.8). Это наиболее легкий конструкционный материал в практике мирового строительства. Прочность пенопластов соответствует их плотности и тоже очень мала: при сжатии – $0,2\text{--}0,5 \text{ МПа}$, а при сдвиге – $0,1\text{--}0,7 \text{ МПа}$. Пенопласты – очень эффективный теплоизоляционный материал. Теплопроводность, соответствующая их малой плотности, очень низкая. Теплоустойчивость их ограничена и у термопластичных видов составляет всего $60 \text{ }^\circ\text{C}$ и лишь вдвое выше у термореактивных. Пенопласты бывают сгораемые – ПС-1 и ПС-4, трудносгораемые и

самозатухающие – ПСБ и ФРП. Благодаря малой массе, низкой теплопроводности и относительно достаточной прочности их используют как эффективный материал для слоистых плит и панелей покрытий и стен зданий различного назначения, отличающихся легкостью и высокими теплозащитными свойствами

Органическое стекло, или оргстекло, – это конструкционная пластмасса, состоящая полностью из термопластичной полимерной смолы–полиметилметакрилата, без каких-либо наполнителей. Его изготавливают в виде листов и плит размерами до 170 см и толщиной до 40 мм. Оргстекло имеет достаточную (до 10 МПа) прочность при изгибе, но ограниченную жесткость и твердость. Модуль упругости составляет 3000 МПа, поверхность легко повреждается, теплостойкость ограничена 60 °С, оно сгораемо.

Главное достоинство оргстекла – высокая степень прозрачности (до 95 %). Существенным преимуществом оргстекла перед оконным стеклом является отсутствие хрупкости и светопрозрачность. В строительстве его используют для создания светопрозрачных участков в покрытиях и стенах зданий, в помещениях которых необходимо создание оздоровительного для людей внутреннего микроклимата. Изготовление термопластичных пенопластов непосредственно в полостях ограждающих конструкций, например при формировании среднего слоя трехслойных плит и панелей.

Плотность пенопластов очень мала и находится у конструкционных видов в пределах 30–100 кг/м³. У поверхности блоков она несколько выше, чем в середине, благодаря меньшим размерам газосодержащих ячеек (рис. 1.8). Это наиболее легкий конструкционный материал в практике мирового строительства. Прочность пенопластов соответствует их плотности и тоже очень мала: при сжатии – 0,2–0,5 МПа, а при сдвиге – 0,1–0,7 МПа.

Пенопласты – очень эффективный теплоизоляционный материал. Теплопроводность, соответствующая их малой плотности, очень низкая. Теплостойкость их ограничена и у термопластичных видов составляет всего 60 °С и лишь вдвое выше у терморезистивных. Пенопласты бывают сгораемые – ПС-1 и ПС-4, трудносгораемые и самозатухающие – ПСБ и ФРП. Благодаря малой массе, низкой теплопроводности и относительно достаточной прочности их используют как эффективный материал для слоистых плит и панелей покрытий и стен зданий различного назначения, отличающихся легкостью и высокими теплозащитными свойствами.

Органическое стекло, или оргстекло, – это конструкционная пластмасса, состоящая полностью из термопластичной полимерной смолы–полиметилметакрилата, без каких-либо наполнителей. Его изготавливают в виде листов и плит размерами до 170 см и толщиной до 40 мм. Оргстекло имеет достаточную (до 10 МПа) прочность при изгибе, но ограниченную жесткость и твердость. Модуль упругости составляет 3000 МПа, поверхность легко повреждается, теплостойкость ограничена 60 °С, оно сгораемо.

Главное достоинство оргстекла – высокая степень прозрачности (до 95 %). Существенным преимуществом оргстекла перед оконным стеклом является отсутствие хрупкости и светопрозрачность. В строительстве его используют для создания светопрозрачных участков в покрытиях и стенах зданий, в помещениях которых необходимо создание оздоровительного для людей внутреннего микроклимата. Малая теплостойкость оргстекла позволяет формировать из нагретых листов гнутые поверхности зенитных фонарей.

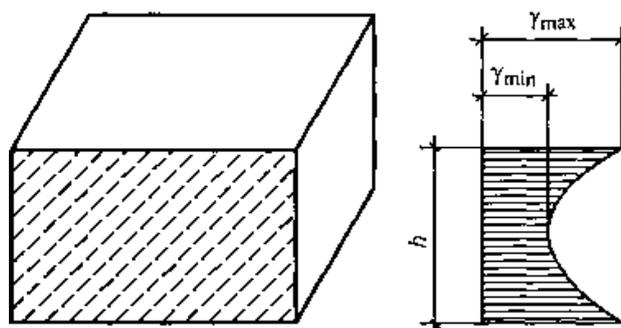


Рисунок 1.8 – Пенопласт: а – блок; б – эпюра изменения плотности и прочности по толщине блока

Винипласт, как и оргстекло, состоит полностью из термопластичной смолы без наполнителей. Его изготавливают в виде плоских или волнистых листов толщиной до 2 мм и шириной до 120 см. Может быть прозрачным. Свойства винипласта близки к свойствам оргстекла. Основными преимуществами являются самозатухаемость, высокая стойкость в химически агрессивных средах и относительно низкая стоимость. Применяют в конструкциях, работающих в химически агрессивных средах.

Воздухонепроницаемые ткани – новый конструкционный материал, состоящий из текстиля и эластичных покрытий. Технический текстиль является прочностной основой воздухонепроницаемых тканей. Его изготавливают из высокопрочных синтетических волокон. Полиамидные волокна типа «капрон» применяют наиболее широко. Они имеют высокую прочность, значительную растяжимость и малую стойкость против старения. Полиэфирные волокна типа «лавсан» менее растяжимы и более стойки против старения. Текстиль имеет полотняное переплетение. Более прочные нити располагаются вдоль рулона (основа), а менее прочные – поперек него (уток). Синтетические волокна не подвержены загниванию, но сгораемы. Покрытия обеспечивают необходимую воздухонепроницаемость тканей, служат для плотной связи нитей и слоев текстиля между собой и защищают их от активного атмосферного старения. В качестве покрытий применяют главным образом резину на основе синтетических каучуков, а также эластичный пластифицированный поливинилхлорид.

Воздухонепроницаемые ткани изготавливают заводы резинотехнических изделий в виде рулонов шириной до 1 м, длиной до 20 м, толщиной 1 – 2 мм и поверхностной плотностью 0,5–1,5 кг/м². По числу слоев текстиля они бывают одно- и многослойными (не более трех слоев). Многослойные ткани бывают параллельно дублированными, в которых нити слоев располагаются параллельно, и диагонально дублированными, когда они находятся под углом 45° друг к другу. Для изготовления пневматических конструкций наша промышленность выпускает следующие воздухонепроницаемые ткани: однослойная У-93 и двуслойная У-92, параллельно дублированная для воздухоопорных конструкций; двуслойная № 109Ф и трехслойная № 110Ф, параллельно дублированная для изготовления более напряженных пневмокаркасных конструкций.

Резину из натурального каучука толщиной 1 мм применяют для изготовления камер пневмокаркасных конструкций. Для небольших воздухоопорных конструкций со сроками службы, измеряемыми месяцами, применяют малопрочные и нестойкие к атмосферным воздействиям, особенно в свету, синтетические пленки. Свойства воздухонепроницаемых тканей определяются свойствами составляющих их текстилей и покрытий. Прочность воздухонепроницаемых тканей зависит не от их толщины, а только от прочности нитей текстиля, направленных вдоль действующего в ткани растягивающего усилия. Вдоль основы прочность ткани значительно выше, чем вдоль утка, что соответствует их относительной прочности. Прочность параллельно дублированных тканей близка к общей прочности составляющих их слоев. Деформативность воздухонепроницаемых тканей весьма значительна и может достигать при одноосном растяжении 30 %. Модуль упругости однослойных тканей составляет около 90 кг/см по основе и около 45 кг/см по утку (соответственно 90 и 45 кН/м). Старение воздухонепроницаемых тканей происходит в результате длительного воздействия на них в процессе эксплуатации кислорода и озона воздуха, солнечного света, переменной влажности и температуры. Покрытия тканей при этом снижают свою эластичность и воздухонепроницаемость, а нити текстиля уменьшают свою прочность.

Морозостойкость воздухонепроницаемых тканей является достаточной и они сохраняют свои свойства при отрицательной температуре до -50 °С. Теплостойкость их тоже достаточно высока и их можно эксплуатировать при температуре до +50 °С. К недостаткам воздухонепроницаемых тканей относят их сгораемость и легкую повреждаемость. Синтетические ткани только с водонепроницаемыми покрытиями, или пропитками, применяют для тентовых покрытий.

Неорганические конструкционные материалы. В конструкциях из дерева и пластмасс применяют также следующие неорганические конструкционные строительные материалы.

Сталь малоуглеродистая средней прочности, плотность 7850 кг/м³, предел текучести 275 МПа, модуль продольной упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа. Сталь изготавливают в виде листов, прокатных и гнутых профилей, прутков и применяют для изготовления металлических элементов и

соединений конструкций. Алюминий, деформируемый и поддающийся обработке давлением, марок АМц, АМг, АВ и др. Плотность алюминия значительно меньше, чем у стали, и равна 2640 кг/м^3 , модуль упругости $E = 7,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, а средняя прочность 150 МПа . Из алюминия изготавливают плоские и гофрированные листы, прокатные и гнутые профили. Алюминий намного более стоек, чем сталь, против коррозии во влажной среде и его применяют для обшивок легких трехслойных плит и панелей покрытий и стен различных зданий, а также для изготовления элементов и соединений конструкций. Асбестоцемент, который состоит из смеси асбестовых волокон с цементным камнем. Изготавливают в виде волнистых и плоских листов толщиной $6 - 10 \text{ см}$ и длиной $1,5; 3,0; 1,7$ и $3,3 \text{ м}$ и гнутых профилей. Средняя плотность 1800 кг/м^3 , средняя прочность при сжатии невелика и равна $1,5 \text{ МПа}$, а при растяжении еще ниже, модуль упругости $E = 600 \text{ МПа}$. Асбестоцемент негорюч, однако хрупок и гигроскопичен. Применяют в основном в качестве листов кровли и обшивок трехслойных ограждающих конструкций.

1.5 Защита древесины от гниения и горения

Защита деревянных конструкций от гниения имеет важное значение для обеспечения их необходимой долговечности в любых условиях эксплуатации.

Гниение – это разрушение древесины простейшими растительными организмами – дереворазрушающими грибами, для которых она является питательной средой. Некоторые лесные грибы поражают еще растущие и высыхающие в лесу деревья. Складские грибы разрушают лесоматериалы во время хранения их на складах. Домовые грибы – мерулиус, кониофора, пория и др. – разрушают древесину строительных конструкций в процессе их эксплуатации.

Грибы развиваются из зародышевых клеток-спор микроскопических размеров, которые легко переносятся движением воздуха. Прорастая, споры в виде тонких нитей-гифов, которые сплетаются в шнуры и пленки-грибницы, образуют плодовое тело гриба – источник новых спор. Гифы дереворазрушающих грибов, проникая в древесину, образуют отверстия в клеточных оболочках и затем растворяют их выделяемыми ферментами – разрушителями целлюлозы. При этом древесина окрашивается в бурый цвет, покрывается трещинами и распадается на призматические кусочки, полностью теряя свою прочность.

Гниение как результат жизнедеятельности растительных организмов невозможно без определенных благоприятных условий. Температура должна быть умеренно положительной, не выше $50 \text{ }^\circ\text{C}$. При отрицательной температуре жизнь грибов замирает, но может возобновиться вновь при потеплении. Прекращается рост грибов при температуре более $50 \text{ }^\circ\text{C}$, а при температуре более $80 \text{ }^\circ\text{C}$ плодовые тела, грибница и споры грибов погибают. Наименьшая влажность древесины, на которой могут расти грибы, составляет 20% . В более сухой древесине жизнь грибов прекращается. Присутствие воздуха также необходимо для роста грибов. Древесина, полностью насыщенная водой или находящаяся в воде без доступа воздуха, гниению не подвергается. Невозможна жизнедеятельность грибов также в среде ядовитых для них веществ.

Защита от гниения имеет важнейшее значение для обеспечения долговечной службы деревянных конструкций. Она состоит в том, что исключается одно из перечисленных выше условий, необходимых для жизнедеятельности грибов. Изолировать древесину от попадания в нее спор, от окружающего воздуха и положительной температуры в большинстве случаев практически невозможно. Можно только уничтожить грибы и их споры высокой температурой, не допустить повышения ее влажности до опасного уровня или пропитать ее ядовитыми для грибов веществами. Это и достигается путем стерилизации, конструктивной и химической защиты древесины от гниения.

Стерилизация древесины происходит естественно в процессе искусственной, особенно высокотемпературной, сушки. Прогрев древесины при температуре выше $80 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к гибели всех присутствующих в ней спор домовых грибов. Такая древесина гораздо дольше сопротивляется загниванию и должна в первую очередь применяться в конструкциях.

Конструктивная защита древесины от гниения (рис. 1.9) обеспечивает такой режим эксплуатации конструкций, при котором ее влажность не превышает благоприятного для загнивания уровня. Защита древесины закрытых помещений от увлажнения атмосферными осадками достигается полной водонепроницаемостью кровли, выполненной из высококачественных материалов.

Кровля должна иметь необходимые уклоны, и в ней не должно быть внутренних водостоков и ендов. Защита древесины от увлажнения капиллярной влагой осуществляется отделением ее от бетонных, каменных или металлических конструкций слоями гидроизоляции. Деревянные конструкции должны опираться на фундаменты выше уровней пола на 15 см и грунта на 50 см. Защита древесины от увлажнения парами воздуха достигается тем, что в помещениях с влажностью более 60 % поверхность ее изолируется водостойкими лакокрасочными материалами.

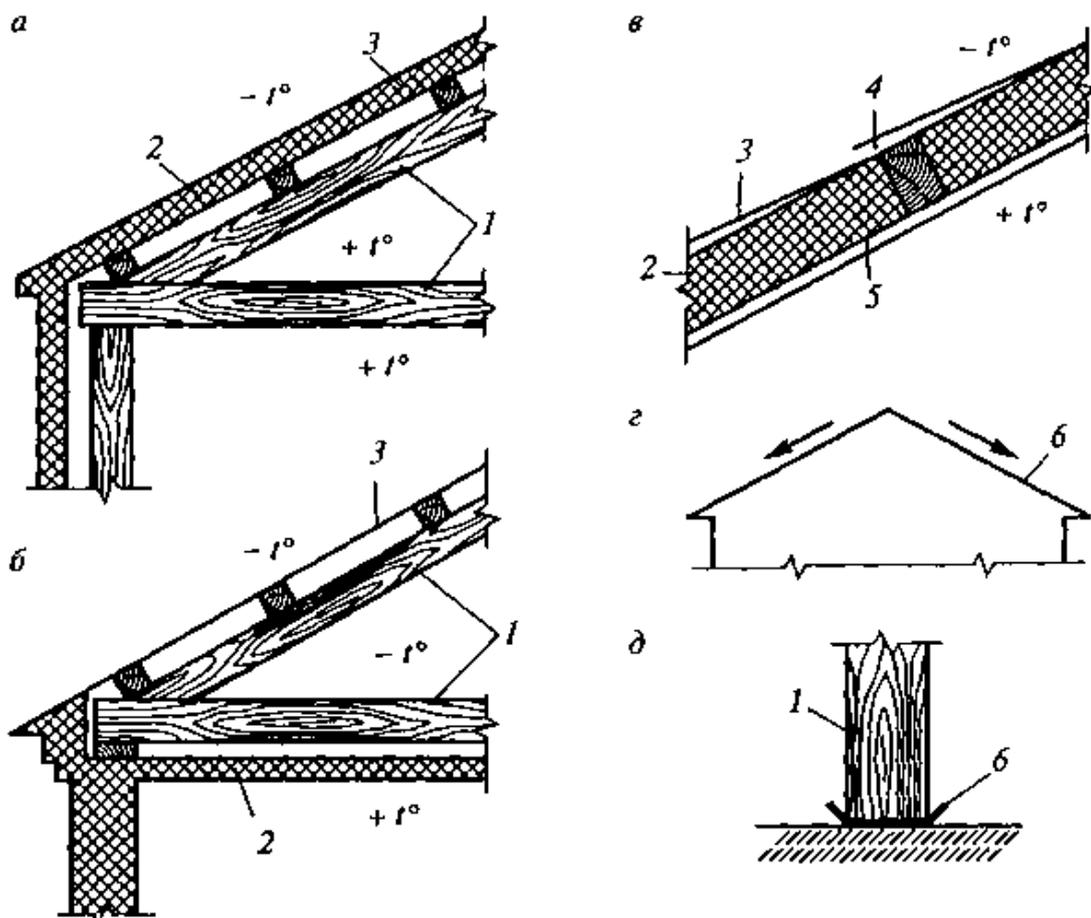


Рисунок 1.9 – Конструктивная защита древесины от гниения: *а* – бесчердачное утепленное покрытие; *б* – чердачное утепленное перекрытие; *в* – защита от конденсационной влаги; *г* – то же, от атмосферных осадков; *д* – то же, от капиллярной влаги; 1 – конструкции; 2 – теплоизоляция; 3 – кровля; 4 – продух; 5 – пароизоляция; 6 – гидроизоляция

Защита древесины от конденсационной влаги имеет очень важное значение. Эта влага возникает в холодное время года в толще теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций отапливаемых помещений в результате конденсации водяных паров. Такое увлажнение происходит длительное время и не всегда может быть обнаружено. Для защиты от проникновения в конструкцию водяных паров со стороны помещения укладывается слой пароизоляции. Основные несущие конструкции помещаются вне зоны перепада температур или полностью внутри помещения ниже слоя теплоизоляции или вне его, например в холодном помещении чердака выше утепленного чердачного перекрытия. Хорошее проветривание древесины благоприятно для ее естественного высыхания в процессе эксплуатации. Для этого делают осушающие продухи в толще конструкций, сообщающиеся с наружным воздухом. Естественные продухи образуются между листами асбестоцементной кровли. Элементы основных конструкций следует проектировать без зазоров и щелей, где может застаиваться влажный воздух.

Химическая защита древесины необходима в тех случаях, когда ее увлажнение в процессе эксплуатации неизбежно. Конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе, в земле, в толще ограждающих конструкций зданий и в других случаях, например конструкции мостов, мачт, свай, неизбежно увлажняются атмосферной, грунтовой или конденсационной влагой. Химическая защита таких конструкций от загнивания заключается в пропитке или покрытии их ядовитыми для грибов веществами – антисептиками. Они бывают водорастворимыми и маслянистыми.

Водорастворимые антисептики – это вещества, не имеющие цвета и запаха, безвредные для людей, например фтористый и кремнефтористый натрий. Их используют для защиты древесины в закрытых помещениях, где возможно пребывание людей и нет опасности вымывания антисептиков водой. Существуют и другие виды водорастворимых антисептиков, некоторые из них ядовиты и для людей.

Маслянистые антисептики представляют собой некоторые минеральные масла – каменноугольное, антраценовое, сланцевое, древесный креозот и др. Они не растворяются в воде, очень ядовиты для грибов, однако имеют сильный неприятный запах и вредны для здоровья людей. Эти антисептики не вымываются водой и применяются для защиты от гниения конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе, в земле и над водой. Защищенные маслянистыми антисептиками конструкции успешно служат десятки лет в условиях, где незащищенные конструкции разрушаются гнилостными грибами за два-три года. Внесение в древесину антисептиков производят различными методами.

Пропитка древесины под давлением наиболее эффективна. При этом древесина влажностью не более 25 % выдерживается в растворе антисептика внутри стального автоклава под высоким (до 14 МПа) давлением, в результате чего антисептик проникает в нее на достаточную глубину. Пропитка древесины в горячих ваннах тоже дает достаточный эффект при меньшей стоимости. При этом древесина выдерживается сначала в горячей, а затем в холодной ванне с раствором антисептика без повышенного давления. Поверхностное антисептирование заключается в нанесении на поверхность древесины эксплуатируемых конструкций горячего антисептического раствора или густой антисептической пасты. Подробные указания по защите древесины от загнивания содержатся в специальной инструкции. Применение древесины, не защищенной от гниения, в благоприятных для загнивания условиях недопустимо.

Поражение насекомыми может тоже служить причиной разрушения древесины. Для деревянных конструкций наиболее опасны жуки-точильщики. Их личинки, питаясь главным образом древесиной, прогрызают в ней многочисленные отверстия, соответственно снижая ее прочность. Для защиты от жуков-точильщиков эффективны только температурный и химический способы. Нагрев древесины до температуры выше 80 °С приводит к гибели этих вредителей. Химическая защита древесины от загнивания, особенно маслянистыми антисептиками, одновременно надежно защищает ее и от жуков-точильщиков. Для истребления жуков и их личинок в древесине эксплуатируемых конструкций применяется окуливание ее ядовитыми газами и распыливание в ходы жуков растворов ядовитых веществ, например гексахлорана или ДЦТ.

Возгорание и горение древесины происходит в результате ее нагрева до температуры, при которой начинается ее термическое разложение с образованием горючих газов, содержащих углерод. Таким образом, древесина как органический материал сгораема. Однако благодаря малой теплопроводности горение крупных элементов долго ограничивается наружными слоями и они имеют достаточный предел огнестойкости – очень важный показатель для успешного тушения пожара. Он определяется временем, при котором нагруженный элемент сохраняет несущую способность при температуре пожара. Деревянные элементы крупных сечений имеют более высокие пределы огнестойкости, чем остальные. Например, брусчатая балка сечением 17х 17 см, нагруженная до напряжения 10 МПа, имеет предел огнестойкости 40 мин, в течение которых могут быть приняты меры для тушения огня.

Возгорание древесины и распространение огня невозможно без определенных благоприятных условий. Длительное нагревание при температуре 150 °С или быстрое при более высокой температуре может привести к воспламенению древесины. Окружающий воздух обогащает процесс горения кислородом и способствует распространению пламени. Элементы конструкций, состоящие

из отдельных досок с зазорами между ними, быстрее нагреваются до опасного предела, чем монолитные, имеют большие поверхности соприкосновения с воздухом и смежные поверхности, взаимно обогреваемые лучистым нагревом. В результате их предел огнестойкости значительно ниже, чем у монолитных элементов.

Целью защиты от возгорания является повышение предела огнестойкости деревянных конструкций, с тем чтобы они дольше сопротивлялись возгоранию и в процессе горения не создавали и не распространяли открытого пламени. Это достигается мероприятиями конструктивной и химической защиты деревянных конструкций от возгорания.

Конструктивная защита древесины от возгорания заключается в ликвидации условий, благоприятных для возникновения и распространения огня. В конструкциях производственных зданий с горячими процессами применение древесины недопустимо. Деревянные конструкции должны быть отделены от печей и нагревательных приборов достаточными расстояниями или огнестойкими материалами. Для предотвращения распространения огня деревянные строения должны быть разделены на части противопожарными преградами и зонами из огнестойких конструкций. Деревянные ограждающие конструкции не должны иметь сообщающихся полостей с тягой воздуха, по которым может распространяться пламя, не доступное для тушения. Элементы деревянных конструкций должны быть массивными клееными или брусчатыми, имеющими большие пределы огнестойкости, чем дощатые. Обыкновенная штукатурка значительно повышает сопротивление деревянных стен и потолков возгоранию.

Химическая защита от возгорания производится в тех случаях, когда от ограждающих деревянных конструкций требуется повышенная степень огнестойкости, например в помещениях, где находятся легковоспламеняющиеся материалы. Она заключается в противопожарных пропитках и окраске. Для огнезащитной пропитки древесины применяют вещества, называемые *антипиренами*. Эти вещества, введенные в древесину, при опасном нагреве плавятся или разлагаются, покрывая ее огнезащитными пленками или газовыми оболочками, препятствующими доступу кислорода к древесине, которая при этом может только медленно разлагаться и тлеть, не создавая открытого пламени и не распространяя огня. Пропитка древесины производится с одновременной пропиткой антисептиками. Защитные краски на основе жидкого стекла, суперфосфата и других веществ наносятся на поверхность древесины. При нагревании во время пожара пленки их вздуваются от выделяемых газов и создают воздушную прослойку, временно препятствующую возгоранию. Защита деревянных конструкций зданий с химически агрессивной средой имеет большое значение для обеспечения необходимого срока их нормальной эксплуатации. При воздействии химически агрессивных веществ – кислот, щелочей, солей – в жидком, твердом или газообразном состоянии происходит коррозия древесины и ее разрушение. Жидкие и твердые вещества действуют на древесину непосредственно, а газообразные – лишь на влажную поверхность древесины, образуя на ней химически агрессивные растворы. Пыль некоторых веществ, например калийных солей, осаждается в порах и щелях древесины, расширяется при увлажнении и ослабляет связи между ее волокнами.

Активность процесса коррозии древесины зависит от степени концентрации агрессивной среды и ее температуры. Слабая агрессивная среда, например минеральные кислоты концентрации до 5 % и пыль калийных солей, оказывает лишь незначительное поверхностное агрессивное воздействие на древесину и практически не снижает прочности деревянных конструкций. В таких средах древесина является химически стойким материалом, гораздо более долговечным, чем металл, бетон и железобетон, для которых эти среды химически агрессивны. Средние и сильные агрессивные среды, например минеральные кислоты концентрации выше 5 %, оказывают разрушительное воздействие на древесину тем более активное, чем выше их концентрация и температура. При этом древесина приобретает сначала цветную, затем темную окраску, растворяются целлюлоза и лигнин, нарушаются связи между волокнами и прочность древесины резко уменьшается.

Защита древесины от коррозии заключается в устранении разрушающего влияния этого процесса путем конструктивных и защитных мероприятий. Конструктивная защита от коррозии является в большинстве случаев достаточной для конструкций, эксплуатируемых в слабых химически агрессивных средах. Деревянные конструкции в этих условиях должны изготавливаться из смолистой хвойной древесины, лучше сопротивляющейся проникновению агрессивных веществ. Элементы

конструкций должны иметь крупные клееные или брусчатые сечения с минимальной поверхностью контакта с окружающей средой. Они должны иметь минимальное количество узловых соединений и металлических креплений. Там, где агрессивные вещества присутствуют в виде пыли, например в складах калийных удобрений, конструкции не должны иметь пазов и горизонтальных поверхностей, удобных для оседания пыли. Этим требованиям отвечают в первую очередь сплошные клееные деревянные конструкции.

Защитные покрытия используют в дополнение к указанным конструктивным мероприятиям. Деревянные конструкции, эксплуатируемые в условиях слабой химически агрессивной среды, дополнительно защищают лакокрасочными покрытиями, изолирующими древесину от окружающей среды. Для этого используют краски, лаки и эмали, стойкие к данной агрессивной среде. Деревянные конструкции, эксплуатируемые в средних и сильных агрессивных средах, должны быть изолированы от соприкосновения с ними герметичными оболочками из химически стойких материалов.

1.6 Расчет по предельным состояниям

Предельные состояния – это такие состояния, при которых конструкция не может больше использоваться в результате действия внешних нагрузок и внутренних напряжений. В конструкциях из дерева и пластмасс могут возникать две группы предельных состояний.

Первая группа наиболее опасна. Она определяется непригодностью к эксплуатации, когда конструкция теряет несущую способность в результате разрушения или потери устойчивости. Этого не происходит, пока максимальные нормальные σ или скалывающие τ напряжения в ее элементах не превосходят расчетных (минимальных) сопротивлений материалов, из которых они изготовлены. Это условие записывается формулой

$$\sigma, \tau < R \quad (1.1)$$

Вторая группа менее опасна. Она определяется непригодностью конструкции к нормальной эксплуатации, когда она прогибается до недопустимой величины. Этого не происходит, пока максимальный относительный прогиб ее f/l не превышает предельно допускаемых значений. Это условие записывается формулой

$$f/l \leq [f/l] \quad (1.2)$$

Цель расчета – не допустить ни первого, ни второго предельного состояний в процессах перевозки, сборки и эксплуатации конструкции. Это выполняется на основании учета нормативных и расчетных нагрузок и сопротивлений материалов.

Нагрузки, действующие на конструкции, определяются СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». При расчете конструкций из дерева и пластмасс учитываются главным образом постоянная нагрузка от собственного веса конструкций и других элементов зданий g и нагрузки от веса снега s , давления и отсоса ветра w . Учитываются также нагрузки от веса людей и оборудования. Каждая нагрузка имеет нормативное и расчетное значения. Нормативное значение удобно обозначать индексом «н».

Нормативные нагрузки являются исходными значениями нагрузок. Временные нагрузки определяют в результате обработки данных многолетних наблюдений и измерений. Постоянные нагрузки вычисляют по значениям собственного веса и объема конструкций, прочих элементов здания и оборудования. Нормативные нагрузки учитывают при расчете конструкций по второй группе предельных состояний – по прогибам.

Расчетные нагрузки определяют на основании нормативных с учетом их возможной переменчивости, особенно в большую сторону. Для этого значения нормативных нагрузок умножают на коэффициент надежности по нагрузке γ , значения которого различны для разных нагрузок, но все они больше единицы. Значения распределенных нагрузок приведены в нормах в килопаскалях (кПа), что соответствует килоньютонам на квадратный метр (кН/м²). В большинстве расчетов применяют линейные значения нагрузок (кН/м). Расчетные нагрузки учитывают при расчете конструкций по первой группе предельных состояний, по прочности и устойчивости.

Постоянная нормативная нагрузка g^n , действующая на конструкцию, состоит из двух частей: первая часть – нагрузка от всех элементов ограждающих конструкций и материалов,

поддерживаемых данной конструкцией. Нагрузку от каждого элемента определяют путем умножения его объема на плотность материала и на шаг расстановки конструкций; вторая часть – нагрузка от собственного веса основной несущей конструкции.

При предварительном расчете нагрузку от собственного веса основной несущей конструкции можно определить приближенно, задаваясь реальными размерами сечений и объемами элементов конструкции. Для этого можно также воспользоваться эмпирической формулой

$$g_{с.в}^н = \frac{g^н + s^н}{1000 / [(K_{с.в}l) - 1]} \quad (1.3)$$

где $g^н$ – постоянная нагрузка от веса поддерживаемых элементов; $s^н$ – временная снеговая нагрузка; $K_{с.в}$ – коэффициент собственного веса.

В состав этой формулы включаются и другие значительные постоянные нагрузки.

Постоянная расчетная нагрузка g равна произведению нормативной на коэффициент надежности по нагрузке γ . Для нагрузки от собственного веса конструкций $\gamma = 1,1$, а для нагрузок от утеплителя, кровли, пароизоляции и т.д. $\gamma = 1,3$. Постоянную нагрузку от обычных скатных покрытий с углом наклона α удобно относить к их горизонтальной проекции путем деления ее на $\cos\alpha$. Нормативная снеговая нагрузка $s^н$ определяется исходя из нормативного веса снегового покрова s^0 , который дается в нормах нагрузок (кН/м²) горизонтальной проекции покрытия в зависимости от снегового района страны.

Нагрузка от веса человека с грузом принимается равной: нормативная $P_n = 1$ кН и расчетная $P = P_n \cdot \gamma = 1 \cdot 1,2 = 1,2$ кН.

2 ЭЛЕМЕНТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Элементами деревянных конструкций служат доски, брусья, бруски, бревна цельных сечений с размерами, указанными в сортаментах пиленых и круглых лесоматериалов. Они могут быть самостоятельными конструкциями, например балками или стойками, а также стержнями более сложных конструкций. Деревянные элементы рассчитывают по методу предельных состояний, изложенному с учетом всех особенностей работы древесины и условий работы конструкций. Усилия, действующие в элементах конструкций, и их прогибы определяются общими методами строительной механики. В результате их расчета решается ряд практических задач проектирования деревянных конструкций.

Проверка прочности и прогиба элемента заключается в определении напряжений в сечениях, которые не должны превышать расчетных сопротивлений древесины, а также его прогибов, которые не должны быть больше предельных, допускаемых нормами. Подбор сечений при проектировании новых деревянных конструкций заключается в определении таких размеров элемента, при которых его прочность и устойчивость будут достаточны для восприятия действующих усилий, а прогибы будут не больше предельных. Несущую способность элемента определяют чаще всего при обследовании конструкций во время их эксплуатации. Для этого рассчитывают наибольшие нагрузки и усилия, которые может выдерживать элемент принятых размеров, чтобы при этом расчетные сопротивления древесины и предельные прогибы не были превышены.

Деревянные элементы рассчитывают на растяжение, сжатие, изгиб, растяжение или сжатие с изгибом, смятие и скалывание в соответствии с СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции». Приводимые ниже расчетные сопротивления соответствуют древесине сосны и ели. В соответствии с этими же нормами производится расчет деревянных изгибаемых элементов по прогибам.

2.1 Растянутые элементы

Растянутыми элементами, чаще всего, являются нижние пояса ферм, затяжки арок и некоторые стержни других сквозных конструкций. Растягивающие усилия N действуют вдоль оси элемента, и во всех точках его поперечного сечения возникают растягивающие нормальные напряжения σ , которые с достаточной точностью считаются одинаковыми по значению.

Древесина работает на растяжение почти как упругий материал и имеет высокую прочность. Разрушение растянутых элементов происходит хрупко, в виде почти мгновенного разрыва наименее прочных волокон по пилообразной поверхности. На рис. 2.1 показаны стандартный лабораторный образец и диаграмма деформаций растяжения чистой без пороков древесины. Из нее видно, что зависимость деформаций от напряжений близка к линейной, а прочность отдельных образцов достигает 100 МПа. Однако прочность реальной древесины при растяжении, в которой имеются допускаемые пороки и которая работает длительное время, а не несколько минут, как образец, при испытании значительно ниже.

Работа деревянных элементов при растяжении является наиболее ответственной, поскольку они разрушаются почти мгновенно, без заметных предварительных деформаций. Поэтому растянутые элементы надо изготавливать, как правило, из наиболее прочной древесины 1-го сорта с нормативным сопротивлением $R_p = 20$ МПа и расчетным сопротивлением $R_p = 10$ МПа. Однако при отсутствии такого материала допускается в малонапряженных элементах применять древесину 2-го сорта с расчетным сопротивлением $R_p = 7$ МПа. Прочность растянутых элементов в тех местах, где они ослаблены отверстиями или врезками, снижается дополнительно в результате концентрации напряжений у их краев. Это учитывается снижающим коэффициентом условий работы $\tau_p = 0,8$. При этом расчетное сопротивление древесины растяжению $R_p = 8$ МПа.

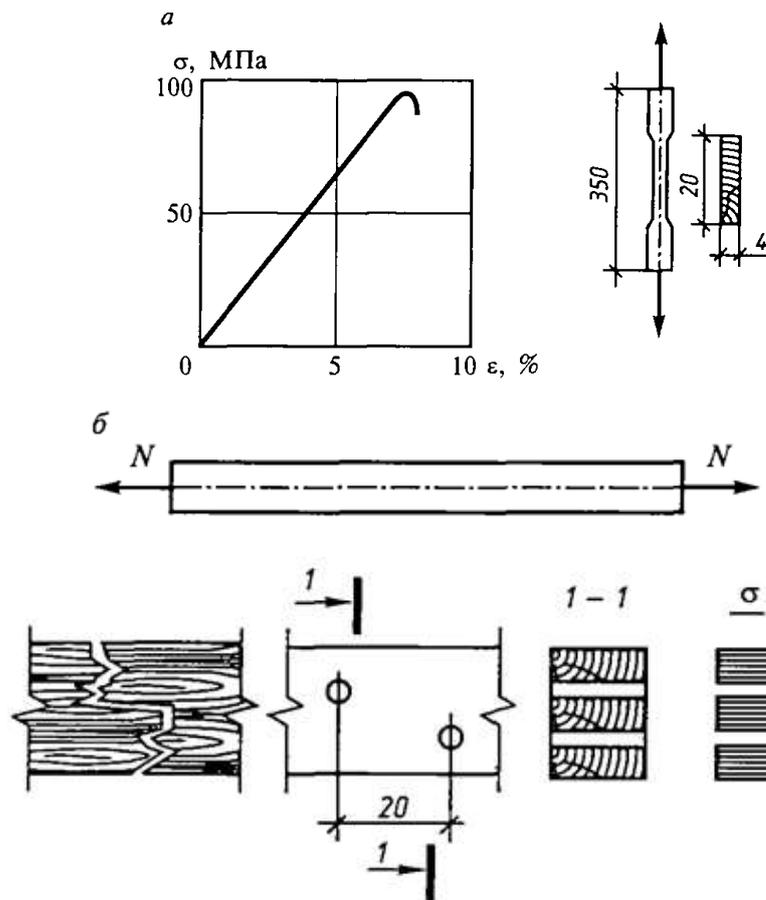


Рисунок 2.1 – Растянутый элемент: а – график деформаций и образец; б – схемы работы, разрушение и эпюра напряжений.

При наличии ослаблений в пределах длины, равной 20 см в разных сечениях, поверхность разрыва всегда проходит через них. Поэтому при определении ослабленной площади сечения A все ослабления на этой длине суммируются, как бы совмещаются в одном сечении (рис. 2.1).

Расчет по прочности растянутых элементов производят на растягивающую силу N от расчетных нагрузок:

$$\sigma = N/A \leq R_p. \quad (2.1)$$

Для подбора сечений растянутых элементов пользуются этой же формулой, написанной относительно требуемой площади сечения, учитывая, что N и R_p известны. При этом $A_{тр} = N/R_p$. Наибольшее растягивающее усилие, которое может выдерживать растянутый элемент принятых размеров, может определяться по этой же формуле, написанной относительно усилия $N = A \cdot R_p$. По деформациям растянутые элементы не проверяются.

Пример 2.1 Подобрать сечение растянутого стержня из древесины 1-го сорта, в котором действует растягивающее усилие $N = 160 \text{ кН} = 0,16 \text{ МН}$. Стержень имеет ослабления двумя рядами отверстий диаметром $d = 1,8 \text{ см}$, выходящих на более широкие стороны стержня. В ослабленных сечениях совмещаются два отверстия ($n = 2$).

Решение. Расчетное сопротивление растяжению с учетом коэффициента ослабления $m = 0,8$ $R_p = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ МПа}$. Требуемая площадь сечения с учетом ослаблений $A_{тр} = N/R_p = 0,16/8 = 0,02 \text{ м}^2 = 200 \text{ см}^2$. По сортаменту (Приложение, табл. 1) принимаем сечение $b \times h = 15 \times 17,5 \text{ см}^2$.

Площадь сечения без ослаблений $A = (A - d \cdot n)b = (17,5 - 1,8 \cdot 2) 15 = 208 \text{ см}^2 = 0,0208 \text{ м}^2$. Действующее напряжение $\sigma = N/A = 0,16/0,0208 = 7,7 \text{ МПа} < R_p$.

2.2 Сжатые элементы

На сжатие работают стойки, подкосы, верхние пояса и отдельные стержни ферм и других сквозных конструкций. В сечениях сжатого элемента от сжимающего усилия N , действующего вдоль его оси, возникают почти одинаковые по величине нормальные сжимающие напряжения σ . Древесина работает на сжатие более надежно, чем на растяжение, но не вполне упруго. На рис. 2.2 показаны стандартный образец для испытания на сжатие и диаграмма его деформаций сжатия. Примерно до половины предела прочности древесина работает почти упруго и рост деформаций происходит по закону, близкому к линейному. При дальнейшем увеличении напряжений деформации растут все быстрее, чем напряжения, указывая на упругопластическую работу древесины. Разрушение образцов происходит при напряжениях, достигающих 40 МПа, пластично в результате потери местной устойчивости стенок ряда волокон древесины, о чем свидетельствует характерная складка на рис. 2.2. Поэтому сжатые элементы работают более надежно, чем растянутые, и разрушаются только после заметных деформаций. Пороки реальной древесины меньше снижают прочность сжатых элементов, поскольку сами воспринимают часть сжимающих напряжений. Поэтому сжатые элементы рекомендуется изготавливать, как правило, из более доступной древесины 2-го сорта, имеющей нормативное сопротивление сжатию $R_{сн} = 25$ МПа и расчетное сопротивление сжатию $R_c = 13$ МПа. Брусья с размерами сечений более 13 см работают еще более надежно, так как процент перерезанных при распиловке волокон у них относительно меньше, чем у тонких брусьев и досок. Поэтому расчетное сопротивление их древесины выше и $R_c = 15$ МПа. Еще выше расчетное сопротивление древесины круглых сечений бревен, где перерезанных волокон нет, и $R_c = 16$ МПа. В наиболее ответственных сжатых элементах допускается применение древесины 1-го сорта, а в малоответственных – 3-го сорта.

Сжатые элементы конструкций имеют, как правило, длину, намного превышающую размеры поперечного сечения, и разрушаются не как малые стандартные образцы, а в результате потери устойчивости, которая происходит раньше, чем напряжения сжатия достигнут предела прочности. При потере устойчивости сжатый элемент теряет несущую способность и выгибается в сторону. При дальнейшем выгибе на вогнутой его стороне появляются складки, свидетельствующие о разрушении древесины от сжатия, а на выпуклой стороне древесина разрушается от растяжения. Относительно короткие редко применяемые элементы разрушаются только от сжатия, как малые стандартные образцы, без потери устойчивости.

Прочность стержня при сжатии и потеря устойчивости зависят от площади A и формы его сечения, длины L и типа закрепления его концов, что учитывается коэффициентом устойчивости φ , называемым иногда *коэффициентом продольного изгиба*. Сжатые деревянные элементы рассчитывают по прочности и устойчивости при действии продольных сил сжатия N от расчетных нагрузок:

$$\sigma = N/(\varphi A) \leq R_c \quad (2.2)$$

Расчетная площадь сечения A принимается равной его полной площади, если она не имеет ослаблений или их площадь не превышает 1/4 площади сечения и ослабления не выходят на кромки, поскольку они не снижают устойчивости такого элемента. Большие внутренние ослабления снижают его несущую способность, но меньше, чем их относительные размеры, и расчетная площадь сечения (нетто) принимается при этом равной 4/3 неослабленной площади сечения. Симметричные наружные ослабления уменьшают прочность элемента пропорционально их размерам, и площадь их исключается из расчета. При несимметричных ослаблениях кроме сжатия возникает еще изгиб, о чем сказано ниже.

Коэффициент устойчивости элемента φ определяется в зависимости от его расчетной длины L_0 , радиуса инерции сечения i , гибкости $\lambda = L_0/i$ и находится из выражений:

$$\varphi = 3000/\lambda^2 \text{ при } \lambda > 70 \text{ и } \varphi = 1 - 0,8 (\lambda/100)^2 \text{ при } \lambda \leq 70.$$

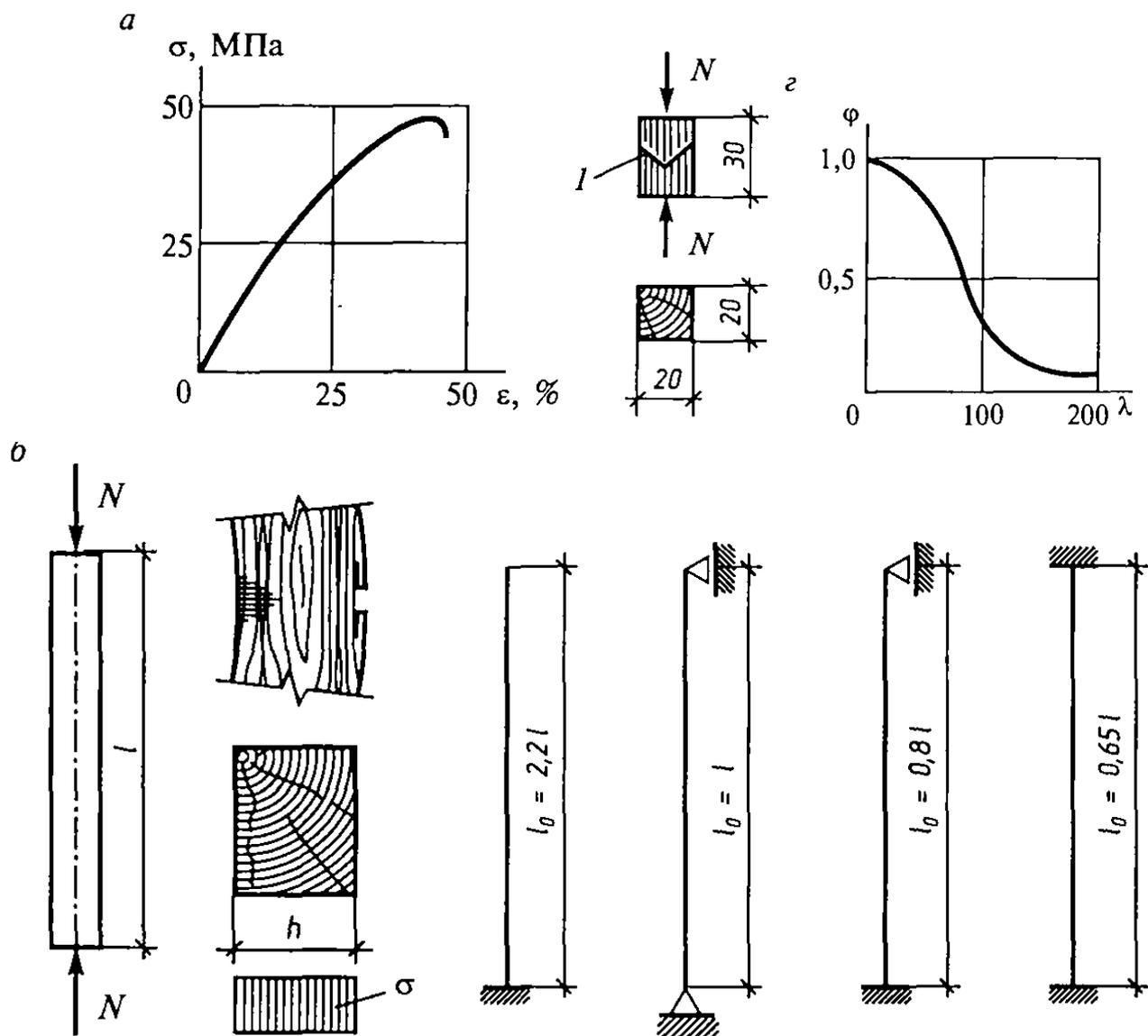


Рисунок 2.2 – Сжатый элемент: а – график деформаций и образец; б – схемы работы, разрушение и эпюра напряжений; в – типы закрепления концов и расчетные длины; г – график коэффициентов устойчивости φ в зависимости от гибкости λ ; 1 – складка при разрушении сжатого элемента.

Расчетная длина L_0 учитывает влияние типа закрепления концов на устойчивость сжатого элемента. При обоих шарнирно закрепленных концах она равна геометрической длине $L_0 = L$. При нижнем заделанном, а верхнем свободном конце $L_0 = 2,2 \cdot L$. При нижнем заделанном, а верхнем шарнирном конце $L_0 = 0,8 \cdot L$, при обоих заделанных концах $L_0 = 0,65 \cdot L$.

Радиус инерции сечения i зависит от площади A и момента инерции сечения I , т. е. $i = \sqrt{I/A}$. Радиусы инерции прямоугольных сечений с размерами b и h , где (h – меньший размер сечения) и круглых сечений диаметром d можно принимать равными $0,29 \cdot h$ и $0,25 \cdot d$.

Гибкость сжатых элементов ограничивается, с тем, чтобы они не получились недопустимо неустойчивыми и недостаточно надежными. Основные элементы конструкций – отдельные стойки, пояса и опорные раскосы ферм и др. – должны иметь гибкость не более 120, прочие сжатые элементы основных несущих конструкций – не более 150 и сжатые элементы связей – не более 200. Коэффициент устойчивости φ , всегда меньший единицы, учитывает влияние устойчивости на снижение несущей способности сжатого стержня. При гибкостях более 70 сжатый элемент теряет устойчивость, когда напряжения сжатия еще невелики и он работает упруго. При этом коэффициент

устойчивости, равный отношению напряжения при потере устойчивости $\sigma_{кр}$ к пределу прочности при сжатии $R_{мт}$, был определен по формуле Эйлера. При гибкостях ≥ 70 элемент теряет устойчивость, когда напряжения сжатия достигают упругопластичной стадии, и модуль упругости древесины снижается. Коэффициент устойчивости определяется при этом по формуле Эйлера с учетом переменности модуля упругости древесины. Коэффициент φ в зависимости от гибкости λ можно также определять по графику, показанному на рис. 2.2.

Несущую способность N сжатого элемента, все размеры которого и способ закрепления концов известны, можно определять по формуле $N = \varphi \cdot A \cdot R_c$. При этом необходимо предварительно вычислить площадь сечения A , гибкость λ и коэффициент устойчивости φ . Подобрать сечение сжатого элемента непосредственно по формуле (2.2) нельзя, так как от его размеров зависит коэффициент устойчивости. В этом случае можно предварительно приближенно задаться величинами λ и φ . Например, для основных стоек следует принимать гибкость $\lambda \approx 80$ и $\varphi \approx 0,5$, для неосновных элементов гибкость $\lambda = 120$ и $\varphi = 0,2$, для элементов связей гибкость $\lambda = 180$ и $\varphi = 0,1$. Требуемую площадь сечения $A_{тр}$ можно определить по формуле $A_{тр} = N / (R_c \cdot \varphi)$ и затем подобрать размеры сечения. Гибкость отдельных элементов прямоугольного сечения следует определять наибольшую в направлении меньшего размера сечения и меньшего радиуса инерции, а при наличии связей – в направлении обеих осей сечения и принимать наибольшую.

Относительно короткие элементы, длина которых не превышает семикратной высоты сечения, работают на сжатие без потери устойчивости и рассчитываются по формуле

$$\sigma = N/A \leq R_c. \quad (2.3)$$

Площадь сечения определяется путем исключения из общей площади площадей всех ослаблений, поскольку они снижают прочность такого элемента пропорционально их величине. Сжатые элементы, не имеющие промежуточных закреплений, выгодно принимать квадратного сечения, одинаковой устойчивости относительно обеих осей их сечений.

Пример 2.2 Подобрать сечение брусчатой стойки из древесины елиго сорта длиной $l = 4,5$ м с шарнирно закрепленными концами. Стойка не имеет ослаблений сечений и нагружена продольными сжимающими силами $N = 270$ кН = 0,27 МН.

Решение. Предварительно можно задаться гибкостью $\lambda = 80$ (граничное значение гибкости $\lambda = 70$ назначать не рекомендуется). Соответствующий коэффициент устойчивости равен $\varphi = 3000 / \lambda^2 = 3000 / 80^2 = 0,47$ (поскольку $\lambda > 70$). Расчетное сопротивление древесины сжатию при размерах сечения более 13 см $R_c = 15$ МПа.

Требуемая площадь сечения стойки $A_{тр} = N / (\varphi \cdot R_c) = 0,27 / (0,47 \cdot 15) = 0,038$ м² = 380 см².

Требуемые размеры квадратного сечения $b_{тр} = h_{тр} = \sqrt{A_{тр}} = \sqrt{380} = 19,5$ см.

Принимается $b = h = 20$ см согласно сортамента пиломатериалов.

Проверка. Площадь сечения $b \cdot h = 20 \times 20 = 400$ см² = 0,04 м². Радиус инерции i , расчетная длина l , гибкость λ и коэффициент устойчивости φ :

$i = 0,29 \cdot h = 0,29 \cdot 20 = 5,8$ см; $l = 450$ см; $\lambda = l/i = 450/5,8 = 78 > 70$; $\varphi = 3000 / \lambda^2 = 3000/78^2 = 0,49$.
Напряжение $\sigma = N / (\varphi \cdot A) = 0,27 / (0,49 \cdot 0,04) = 13,8$ МПа $< R_c$.

2.3 Изгибаемые элементы

Изгибаемыми элементами являются балки, доски настилов и обшивок – наиболее распространенные элементы деревянных конструкций. В изгибаемом элементе от нагрузок, действующих поперек его продольной оси, возникают изгибающие моменты M и поперечные силы Q , определяемые методами строительной механики. Например, в середине пролета однопролетной шарнирно опертой балки от равномерной нагрузки q возникает изгибающий момент $M = q \cdot L^2/8$, а от сосредоточенной в середине пролета силы P изгибающий момент $M = P \cdot L/4$. Поперечные силы равняются опорным реакциям от этих нагрузок. От действия изгибающего момента в сечениях элемента возникают напряжения изгиба σ , которые состоят из сжатия в верхней половине сечения и растяжения в нижней. В результате элемент изгибается.

На рис. 2.3 показаны стандартный малый образец древесины и диаграмма его прогибов при испытании на изгиб. Эта диаграмма, как и при сжатии, примерно до половины имеет линейные очертания, затем изгибается, показывая ускоренный рост прогибов. Разрушение образца начинается с появления складок крайних сжатых волокон древесины и завершается разрывом крайних нижних растянутых волокон, в результате чего образец ломается при среднем напряжении изгиба $\sigma = 75$ МПа.

Нормальные напряжения в сечениях изгибаемого элемента распределяются неравномерно по высоте. В начальной расчетной стадии древесина работает упруго и эпюра напряжений изображается прямой линией с максимумами у кромок и нулем у нейтральной оси сечения. При дальнейшем росте напряжений сжатая часть сечения начинает работать упругопластично, эпюра напряжений сжатия изгибается и нейтральная ось смещается в сторону растянутой кромки. В стадии разрушения часть эпюры, показывающая сжатие, изгибается еще больше, напряжения сжатия и растяжения достигают пределов прочности, и элемент ломается. Пороки древесины, длительное действие нагрузок и наличие перерезанных при распиловке волокон уменьшают прочность изгибаемых элементов из реальной древесины в той же степени, что и при сжатии. Изгибаемые элементы работают еще более надежно, чем сжатые, и предупреждают об опасности разрушения заранее большими прогибами. Изгибаемые элементы, как и сжатые, рекомендуется изготавливать из древесины среднего качества 2-го сорта с расчетными сопротивлениями $R_u = 13$ МПа. В брусках с сечениями более 13 см расчетное сопротивление изгибу $R_u = 15$ МПа, а в бревнах $R_u = 16$ МПа. В малоответственных элементах можно применять древесину 3-го сорта с расчетным сопротивлением $R_u = 8,5$ МПа.

Расчет изгибаемых элементов по прочности поперечных сечений производится на действие максимальных изгибающих моментов M (МН·м) от расчетных нагрузок:

$$\sigma = M/W \leq R_u, \quad (2.4)$$

где W – момент сопротивления сечения. У наиболее распространенных прямоугольных сечений шириной b и высотой h момент сопротивления $W = b \cdot h^2/6$, а для круглых сечений диаметром d момент сопротивления $W = d^3/10$.

Подбор сечения изгибаемого элемента по прочности может производиться также по формуле (2.4), переписанной относительно требуемого момента сопротивления W_{mp} . После этого можно задаться одним из размеров прямоугольного сечения – b или h и определить другой, например:

$$W_{mp} = M/R_u; \quad h_{mp} = \sqrt{6W_{tr}/b}; \quad b_{mp} = 6W_{mp}/h^2; \quad d_{mp} = \sqrt[3]{10W_{tr}}$$

Предельная расчетная нагрузка, которую может выдерживать изгибаемый элемент по прочности, когда все его размеры известны, может быть определена также с помощью формулы (2.5), переписанной относительно изгибающего момента M . Например, однопролетная шарнирно опертая балка пролетом L с размерами сечения шириной b и высотой h может выдерживать равномерную нагрузку q , определяемую в таком порядке:

$$W = b \cdot h^2/6; \quad M = W \cdot R_u; \quad q = 8 \cdot M/L^2 \quad (2.5)$$

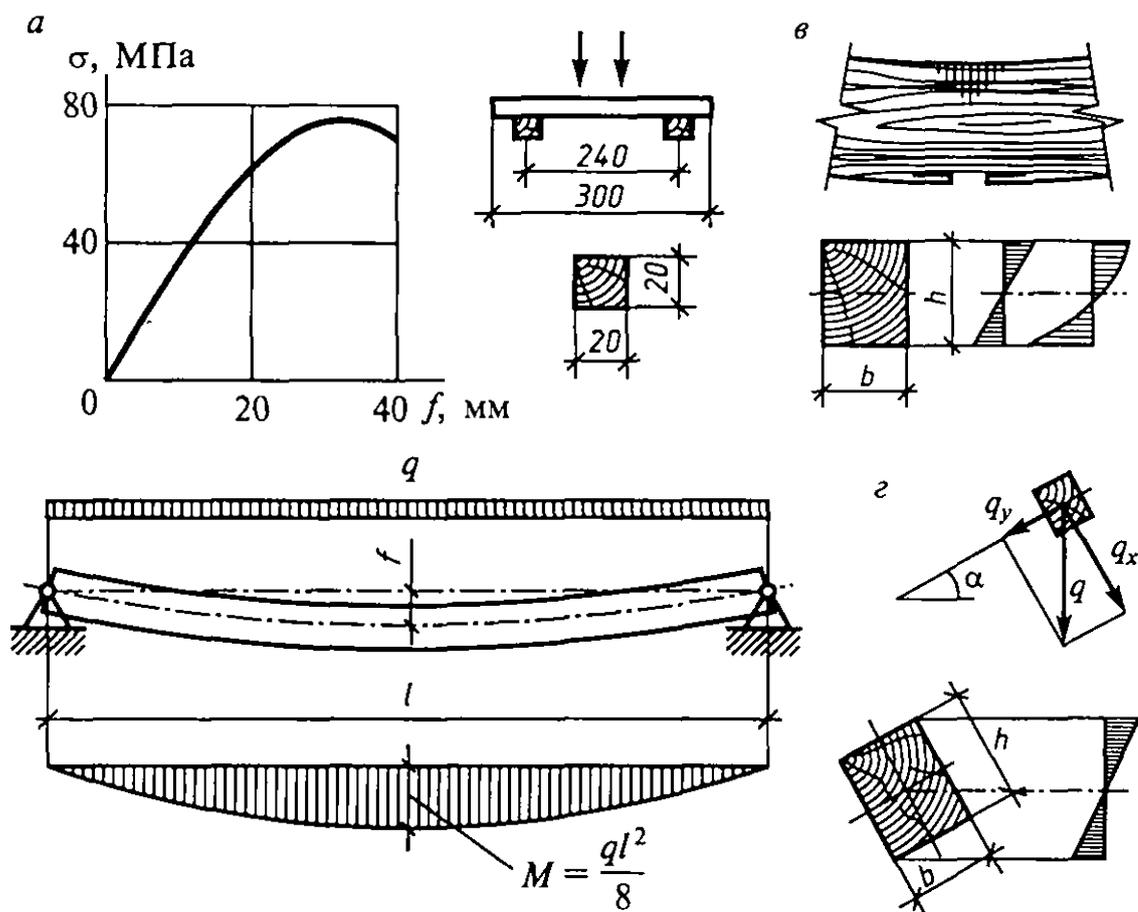


Рисунок 2.3 – Изгибаемый элемент: а – диаграмма прогибов и образец; б – схема работы и эпюры изгибающих моментов; в – схема разрушения и эпюры нормальных напряжений; г – схема работы при косом изгибе и эпюра напряжений.

Расчет изгибаемого элемента по прогибам заключается в определении его наибольшего относительного прогиба f/L от нормативных нагрузок и проверке условия, чтобы он не превышал предельно допустимого нормами значения, что определяется условием $f/l < [f/l]$.

Например, проверить относительный прогиб однопролетной шарнирно опертой балки прямоугольного сечения $b \times h$, пролетом L при равномерной нормативной нагрузке q^H (МН/м) можно по формуле

$$f/l = (5/384) \cdot q \cdot L^3 / (EI) \leq [f/L], \quad (2.6)$$

где: I – момент инерции сечения $I = b \cdot h^3 / 12 \text{ м}^4$; модуль упругости древесины $E = 10^4 \text{ МПа}$.

Если относительный прогиб балки получается больше, то сечение должно быть увеличено и подобрано по прогибу. Для этого формулу (2.3) следует переписать относительно требуемого момента инерции: $I_{\text{тр}} = 5/384 \cdot [EI(f/l)]$. После этого можно задаться одним размером прямоугольного сечения и определить другой, например, из выражения $h_{\text{мп}} = \sqrt[3]{12 \cdot I/b}$. При изгибе в сечениях изгибаемого элемента возникают и скалывающие напряжения τ , проверка которых излагается ниже.

Пример 2.3 Подобрать сечение однопролетной шарнирно опертой балки из сосновой

древесины 2-го сорта. Балка имеет пролет $l = 4$ м и воспринимает равномерные линейные нагрузки – нормативную q^H и расчетную q : $q^H = 1,7$ кН/м = 0,0017 МН/м; $q = 2,2$ кН/м.

Решение. Подберем сечения по прочности:

Расчетное сопротивление изгибу $R_u = 13$ МПа. Изгибающий момент от расчетной нагрузки $M = q \cdot l^2 / 8 = 2,2 \cdot 4^2 / 8 = 4,4$ кН·м = 0,0044 МН·м.

Требуемый момент сопротивления $W_{mp} = M / R_u = 0,0044 / 13 = 338 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 338 \text{ см}^3$.

Задаемся шириной сечения $b = 10$ см.

Требуемая высота сечения $h_{mp} = \sqrt{6W/b} = \sqrt{6 \cdot 338 / 10} = 14,3$ см.

Принимаем по соотраменту сечение $b \times h = 10 \times 15$ см.

Момент сопротивления $W = b \cdot h^2 / 6 = 10 \cdot 15^2 / 6 = 375 \text{ см}^3 = 375 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Напряжение изгиба $\sigma = M / W = 0,0044 / 375 \cdot 10^{-6} = 11,75$ МПа $< R_u$.

Проверка прогиба:

Момент инерции $I = b \cdot h^3 / 12 = 10 \cdot 15^3 / 12 = 2821 \text{ см}^4 = 2821 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$.

Модуль упругости $E = 10^4$ МПа.

Относительный прогиб $-f/l = (5/384) \cdot q \cdot l^3 / (E \cdot I) = (5/384) \cdot 0,0017 \cdot 4^3 / (10^4 \cdot 2821 \cdot 10^{-8}) = 1/200 = [f/l]$.

2.4 Косоизгибаемые элементы

Косоизгибаемые элементы – это балки и прогоны скатных покрытий. Косой изгиб возникает в элементах, оси сечений которых расположены наклонно к направлению действия нагрузок (рис. 2.3, г). Косой изгиб можно рассматривать как результат изгибов относительно любой из осей сечения, каждый из которых происходит как прямой. При косом изгибе нормальные напряжения в сечениях суммируются и достигают максимальных значений только напряжения сжатия в верхней, а растяжения – в нижней точках сечений. В этих точках и начинается разрушение косо изгибаемого элемента прямоугольного сечения. В элементах круглого сечения косой изгиб возникнуть не может, поскольку все его оси являются осями симметрии сечения. Косо изгибаемые элементы изготавливают, как и изгибаемые, из древесины 2-го сорта, которая имеет расчетные сопротивления изгибу, приведенные выше.

Вертикальная нагрузка, например, равномерная q , и изгибающий момент от нее M при косом изгибе элемента прямоугольного сечения под углом α раскладываются на нормальные и скатные составляющие вдоль осей сечений: $q_x = q \cdot \cos \alpha$; $q_y = q \cdot \sin \alpha$; $M_x = M \cdot \cos \alpha$; $M_y = M \cdot \sin \alpha$. Относительно этих же осей определяют моменты сопротивления W и момент инерции I сечений. Проверку прочности косоизгибаемых элементов производят по формуле

$$\sigma = M_x / W_x + M_y / W_y \leq R_{II} \quad (2.7)$$

Подбор сечений косоизгибаемых элементов может производиться методом попыток. При этом их следует устанавливать большими размерами прямоугольного сечения в направлении действия больших составляющих действующих нагрузок. Расчет косоизгибаемых элементов по прогибам производят с учетом геометрической суммы прогибов относительно каждой оси по формуле

$$f/l = \sqrt{(f_x^2 + f_y^2)} / L \leq R_{II} \quad (2.8)$$

2.5 Сжато-изгибаемые элементы

Сжато-изгибаемые элементы работают одновременно на сжатие и изгиб. Так работают, например, верхние пояса ферм, в которых кроме сжатия действует еще изгиб от межузловой нагрузки от веса покрытия. В элементах, где сжимающие силы действуют с эксцентриситетом относительно их осей, тоже возникает сжатие с изгибом, поэтому их еще называют *внецентренно сжатыми*. В сечении сжато-изгибаемого элемента действуют продольные сжимающие силы N . От этих сил возникают равномерные напряжения сжатия и изгибающий момент M , от которого появляются и сжимающие, и растягивающие напряжения, максимальные в крайних волокнах и нулевые на нейтральной оси прямоугольного сечения. Напряжения сжатия складываются, а напряжения сжатия и растяжения вычитаются (рис. 2.5). Максимальные сжимающие напряжения возникают в крайних волокнах сечения в месте действия максимального изгибающего момента.

Разрушение сжато-изгибаемого элемента начинается с потери устойчивости сжатых волокон, что обнаруживается появлением складок и повышенными прогибами, после чего элемент ломается. Такое разрушение частично пластично. Поэтому сжато-изгибаемые элементы работают более надежно, чем растянутые, и их рекомендуется изготавливать из древесины 2-го сорта с расчетными сопротивлениями сжатию $R_c=13$ или 15 МПа.

Расчет сжато-изгибаемого элемента производят на действие максимальных продольных сжимающих сил N и изгибающих моментов M от расчетных нагрузок по формуле

$$\sigma = N/A + M_D/W = R_c, \quad (2.9)$$

где $M_D = M/\xi$, – изгибающий момент с учетом дополнительного изгибающего момента, который возникает в результате прогиба элемента от внешней нагрузки (коэффициент $\xi = 1 - N\lambda^2/(3000 \cdot R_c \cdot A)$).

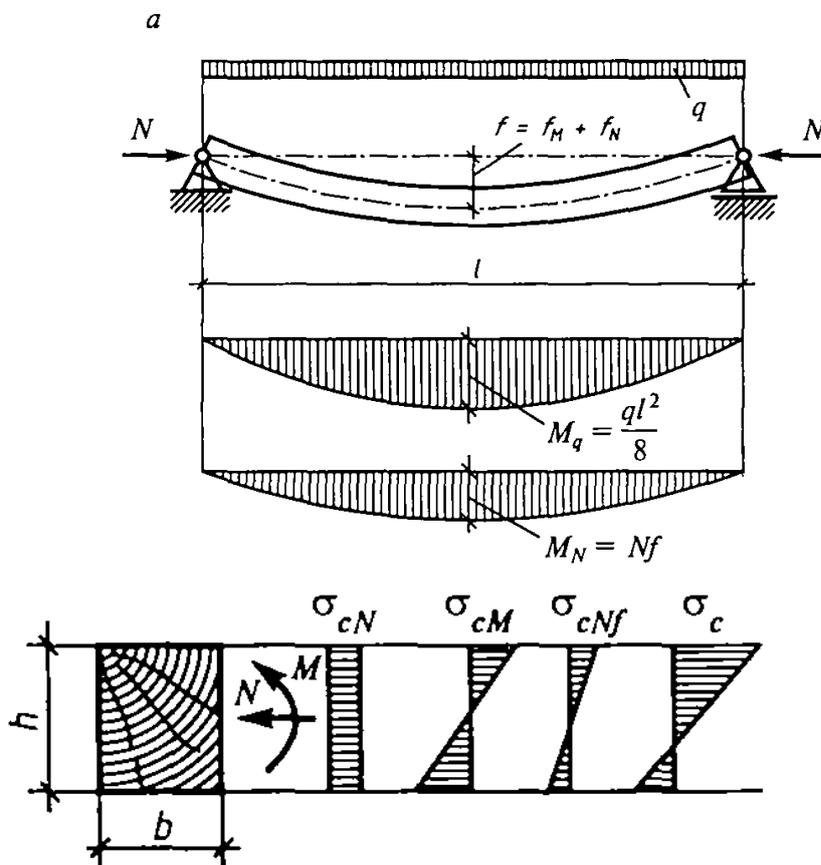


Рисунок 2.5 – Сжато-изгибаемый элемент:
а – схема работы и эпюры изгибающих моментов; б – эпюры нормальных напряжений.

При этом сжимающие продольные силы N начинают действовать с эксцентриситетом, равным f , и возникает дополнительный момент $M = N \cdot f$. Этот дополнительный момент и учитывается коэффициентом который зависит от продольной силы N , гибкости λ , расчетного сопротивления сжатию R_c и площади сечения A .

Сжато-изгибаемый элемент должен быть также проверен на прочность и устойчивость только при сжатии продольной силой в направлении из плоскости действия изгибающего момента по формуле (2.5). Проверки устойчивости плоской формы деформирования цельных сжато-изгибаемых элементов, как правило, не требуется.

Пример 2.5 Проверить прочность и устойчивость сжато-изгибаемого стержня из древесины 2-го сорта. Стержень длиной $l = 3,5$ м и сечением $b \times h = 12,5 \times 20$ см не имеет ослаблений, и концы его закреплены шарнирно. На стержень от расчетных нагрузок действует продольная сжимающая сила $N = 80$ кН = 0,08 МН и изгибающий момент $M = 5$ кН·м = 0,005 МН·м в направлении большего размера сечения.

Решение. Расчетное сопротивление древесины сжатию $R_c = 13$ МПа.

Площадь и момент сопротивления сечения определяют по формулам

$$A = b \cdot h = 12,5 \cdot 20 = 250 \text{ см}^2 = 0,025 \text{ м}^2; W = b \cdot h^2 / 6 = 12,5 \cdot 20^2 / 6 = 833 \text{ см}^3 = 833 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Расчетная длина, радиус энергии, гибкость и коэффициент устойчивости следующие:

$$l_0 = l = 350 \text{ см}; i = 0,29 \cdot h = 0,29 \cdot 20 = 5,8 \text{ см}; \lambda = l_0 / i = 350 / 5,8 = 60,3 < 70;$$

$$\text{Коэффициент } \zeta = 1 - N \cdot \lambda^2 / (3000 \cdot R_c \cdot A) = 1 - 0,08 \cdot 60,3^2 / (3000 \cdot 13 \cdot 0,025) = 0,70.$$

$$\text{Момент с учетом деформаций } M_0 = M / \zeta = 0,005 / 0,70 = 0,0071 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Напряжение сжатия } \sigma = N/A + M_0/W = 0,08/0,025 + 0,0071/(833 \cdot 10^{-6}) = 12,6 \text{ МПа} < R_c$$

Проверка прочности и устойчивости из плоскости изгиба. Расчетная длина, радиус инерции, гибкость и коэффициент устойчивости следующие:

$$l_0 = 350 \text{ см}; i = 0,29 \cdot b = 0,29 \cdot 12,5 = 3,6 \text{ см}; \lambda = l_0 / i = 350 / 3,6 = 97 > 70;$$

$$\varphi = 3000 / \lambda^2 = 3000 / 97^2 = 0,32.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = N / (\varphi \cdot A) = 0,08 / (0,32 \cdot 0,025) = 10 \text{ МПа} < R_c.$$

2.6 Растянуто-изгибаемые элементы

Растянуто-изгибаемые элементы работают одновременно на растяжение и изгиб. Так работает, например, нижний пояс фермы, в котором кроме растяжения действует еще и изгиб от между узловой нагрузки от веса подвесного перекрытия. Так же работает элемент, растягивающие силы в котором действуют с эксцентриситетом относительно его оси. Такие элементы называют еще внецентренно растянутыми. Схема работы, эпюры изгибающих моментов и напряжений в сечениях растянуто-изгибаемого элемента показаны на рис. 2.6. В сечениях растянуто-изгибаемого элемента от продольных растягивающих сил N возникают равномерные растягивающие напряжения, а от изгибающего момента M – напряжения изгиба, состоящие из сжатия на одной половине и растяжения на другой половине сечения. Эти напряжения суммируются с учетом их знаков, благодаря чему растягивающие напряжения увеличиваются, а сжимающие уменьшаются. Наибольшие напряжения растяжения действуют в крайних растянутых кромках сечения в месте действия максимального изгибающего момента. Здесь и начинается разрушение элемента от разрыва растянутых волокон древесины. Растянуто-изгибаемые элементы – это такие же ответственные элементы, как и растянутые, и их рекомендуется изготавливать из древесины 1-го сорта с расчетным сопротивлением при растяжении $R_p = 10$ МПа и при изгибе $R_u = 14$ МПа. Расчет растянуто-изгибаемых элементов производят по прочности на действие продольных растягивающих сил N и изгибающих моментов M от действующих расчетных нагрузок по формуле

$$\sigma = N/A + (M/W)R_p/R_u \leq R_p \quad (2.10)$$

Искривление оси растянуто-изгибаемого элемента при изгибе несколько уменьшает изгибающий момент M_D от внешних нагрузок в результате возникающего эксцентриситета продольных сил и соответствующего изгибающего момента со знаком, противоположным знаку момента от внешних нагрузок M_D . В запас прочности этот обратный изгибающий момент не учитывается. Отношение расчетных сопротивлений растяжению и изгибу R_p/R_u позволяет привести эти напряжения к общему значению, что необходимо для сравнения его с расчетным сопротивлением растяжению.

Подбор сечений растянуто-изгибаемых элементов можно производить методом попыток, поскольку использовать для этого формулу (2.10) невозможно. Дополнительную равномерную нагрузку, выдерживающую растянутым элементом, растягивающие напряжения в сечениях которого значительно меньше расчетных, можно определить из выражения, основанного на формуле $M = (R_p - N/A) \cdot W \cdot R_p/R_u$; $q = 8 \cdot M/l^2$.

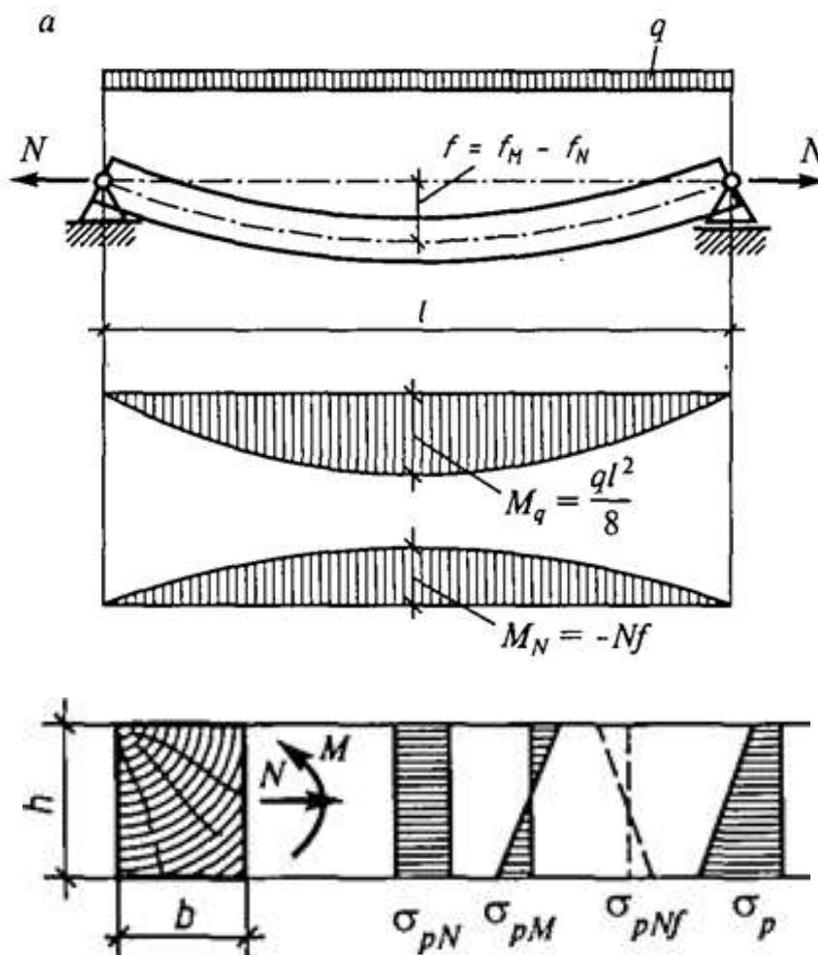


Рисунок 2.6 – Растянуто-изгибаемый элемент:

а – схема работы и эпюры изгибающих моментов; б – эпюры нормальных напряжений.

Пример 2.6 Проверить прочность растянуто-изгибаемого стержня из древесины 1-го сорта. Стержень имеет длину $l = 4$ м и сечение с размерами $b \times h = 13 \times 15$ см. Он растягивается продольной силой $N = 70$ кН = 0,07 МН и изгибается одновременно изгибающим моментом от расчетных нагрузок $M = 4$ кН·м = 0,004 МН·м, действующих в направлении большего размера сечения. Ослаблений сечений нет.

Решение. Расчетные сопротивления древесины растяжению и изгибу $R_p = 10$ МПа и $R_u = 14$ МПа. Определяем площадь сечения $A = b \times h = 13 \cdot 15 = 195$ см² = 0,0195 м² и момент сопротивления $W = b \cdot h^2/6 = 13 \cdot 15^2/6 = 487$ см³ = 487 · 10⁻⁶ м³. Нормальные напряжения растяжения $\sigma = N/A + (M/W) \cdot R_p/R_u = 0,07/0,0195 + (0,004/487 \cdot 10^{-6}) \cdot 10/14 = 9,6$ МПа < R_p .

2.7 Смятие древесины

Смятие древесины происходит от сжимающих сил, действующих перпендикулярно поверхности деревянного элемента. Они вызывают в нем в большинстве случаев равномерные напряжения смятия. Следовательно, смятие – это поверхностное сжатие, которое может быть общим и местным. Общее смятие возникает тогда, когда сжимающая сила действует на всю поверхность элемента, местное – когда сила действует на часть поверхности элемента. Прочность и деформативность элементов при смятии существенно зависят от угла смятия. Угол смятия α – это угол между направлениями действия сминающей силы и волокон древесины. При смятии вдоль волокон под углом $\alpha = 0^\circ$ стенки клеток работают в наиболее благоприятных условиях и древесина имеет прочность и деформативность, как и при сжатии вдоль волокон. Расчетное сопротивление древесины смятию в этом случае $R_c = 13$ или 15 МПа.

При смятии поперек волокон под углом смятия $\alpha = 90^\circ$ стенки клеток работают в наименее благоприятных условиях – они сплющиваются за счет внутренних пустот, что приводит к значительным деформациям. На рис. 2.7 показаны испытательный образец и диаграмма деформаций при его испытании на местное смятие поперек волокон. Участок диаграммы 1 показывает почти упругую работу древесины в начале нагружения. На участке 2 происходит ускоренный рост деформаций в результате сплющивания клеток. На участке 3 рост деформаций замедляется за счет уплотнения древесины. Разрушение древесины при смятии заключается в нарушении связей между волокнами и появлении трещин. При этом расчетное сопротивление смятию установлено с целью ограничить деформативность древесины при смятии поперек волокон и под углом к ним в соединениях и не допустить провисания конструкций.

При общем смятии (сжатии) древесины поперек волокон деформации смятия наиболее велики и расчетное сопротивление поперечному смятию является наименьшим; $R_{см90} = 1,8$ МПа. Смятие в опорных площадях не влияет на работу конструкций в целом, расчетное сопротивление поперечному смятию увеличивается коэффициентом работы $m = 1,67$ и $R_{см90} = 3$ МПа.

При местном смятии поперек волокон соседние ненагруженные участки древесины тоже сминаются за счет изгиба волокон и оказывают поддерживающее действие работе нагруженного участка тем больше, чем меньше его длина l . Расчетное сопротивление смятию определяют по эмпирической формуле:

$$R_{см90} = R_{c90} [1 + 8 / (l_{см} + 1,2)] \quad (2.11)$$

Длина соседних ненагруженных участков при этом должна быть не менее длины площади смятия и толщины элемента. Расчетное сопротивление местному смятию древесины под шайбами болтов, работающих на растяжение, при углах смятия более 60° с учетом поддерживающего действия окружающих участков древесины тоже повышается коэффициентом условия работы $m = 2,2$ и $R_{см\alpha} = 4$ МПа.

При наклонном смятии под углом смятия α к направлению волокон прочность и деформативность древесины имеют промежуточный характер между продольным и поперечным смятием и зависят от этого угла. Расчетное сопротивление смятию под углом α определяют по формуле:

$$R_{см\alpha} = \frac{R_c}{1 + (R_c / R_{см90} - 1) \sin^3 2\alpha} \quad (2.12)$$

Такое сопротивление можно рассчитывать также по графику, приведенному на рис. 2.7. Расчетные сопротивления смятию в соединениях находят по этим же формулам с учетом коэффициента условий работы каждого соединения. Расчет элементов на смятие производят на действие сжимающей силы N от расчетных нагрузок, площади смятия A и расчетного сопротивления древесины $R_{см\alpha}$ по формуле

$$\sigma = N/A < R_{см \alpha} \quad (2.15)$$

С помощью этой формулы можно подобрать требуемую площадь смятия, а также определить несущую способность сминаемой площади, переписав ее относительно искомых величин. Пороки древесины в большинстве случаев не уменьшают ее прочность при смятии и она не ограничивается.

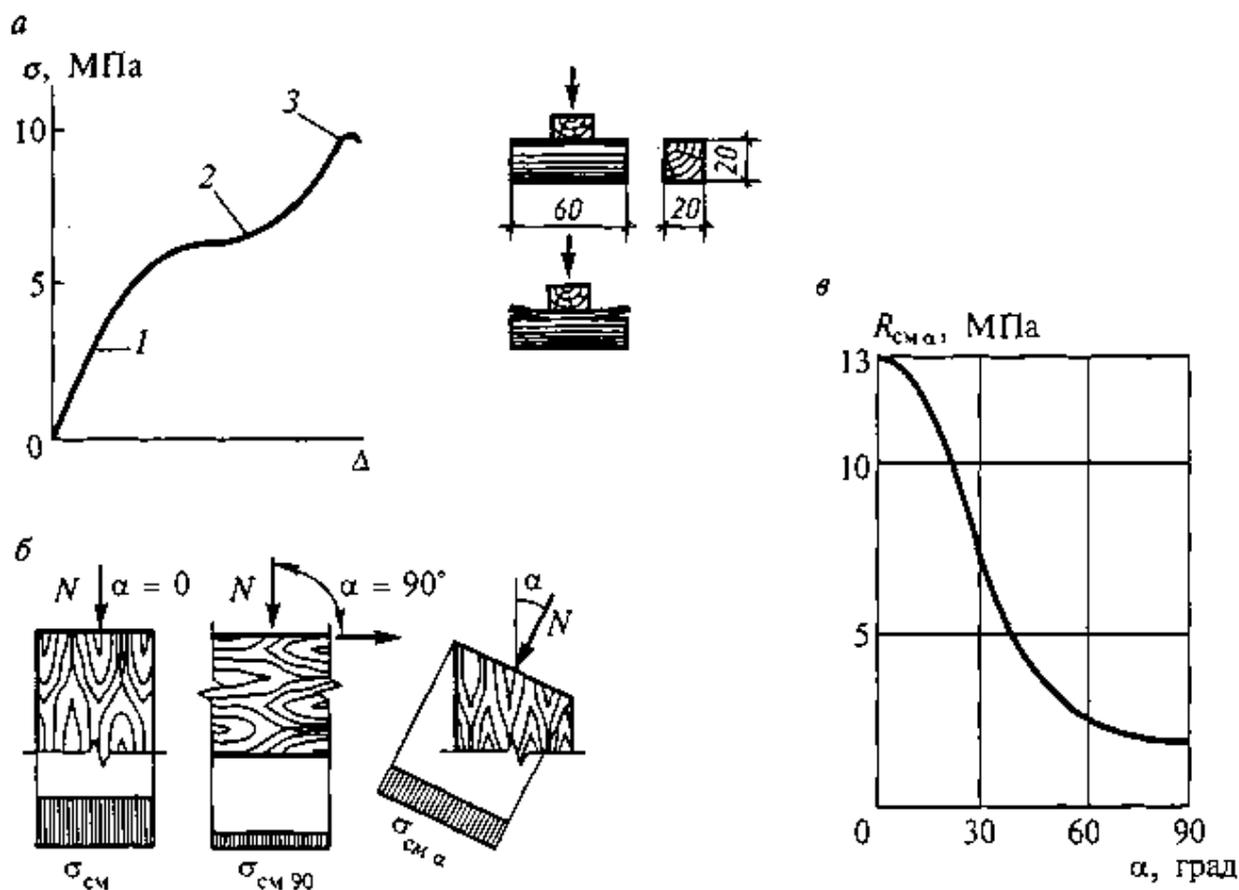


Рисунок 2.7 – Сминаемые элементы:

а – график деформаций и образец; б – схемы работы и эпюры напряжений смятия; в – график расчетных напряжений смятия в зависимости от угла смятия α .

2.8 Скалывание древесины

Скалывание древесины происходит в продольных сечениях элементов, параллельных их осевым плоскостям, от действия скалывающих усилий T . Эти усилия действуют в большинстве случаев вдоль волокон древесины и от них возникают скалывающие напряжения τ . Прочность древесины, при скалывании, очень мала ввиду ее волокнистого строения. Волокна древесины имеют относительно слабые связи между собой, которые легко разрываются при скалывании. Элементы при скалывании разрушаются хрупко, почти мгновенно, и распадаются на части без заметных предварительных деформаций при средних напряжениях скалывания $\tau = 6,8$ МПа.

Пороки древесины в разной степени влияют на прочность древесины при скалывании. Основные пороки – сучки – не снижают ее прочности при скалывании. Трещины в зонах действия значительных скалывающих напряжений не допускаются. Прочность древесины при скалывании поперек волокон более чем в два раза ниже.

Скалывание при изгибе (рис. 2.8, а) возникает от парных сдвигающих сил T , действующих в

противоположных направлениях. Эти силы вызываются поперечными силами Q и по длине элемента изменяются аналогично. При действии равномерной нагрузки q в однопролетной шарнирно опертой балке поперечные силы достигают максимума у опор и имеют значение $Q = ql/2$. По высоте сечения скальвающие напряжения τ распределяются неравномерно. Максимальное значение в прямоугольных сечениях они имеют на нейтральной оси в половине высоты сечения и снижаются до нуля у его кромок. По ширине сечения они не изменяются. Работа древесины на скальвание в соединениях является особенно ответственной, и разрушение здесь может привести к потере несущей способности всей конструкции. Поэтому качество древесины соединений должно быть особенно высоким, а наличие трещин недопустимо.

Пример 2.8 Проверить прочность при скальвании древесины 2-го сорта изгибаемого элемента, в котором действует максимальная поперечная сила $Q = 21 \text{ кН} = 0,021 \text{ МН}$. Элемент имеет размеры сечения $l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$ и $h = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$.

Решение. Расчетное сопротивление скальванию при изгибе $R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}$. Определяем статический момент: $S = b \cdot h^2 / 8 = 10 \cdot 20^2 / 8 = 500 \text{ см}^3 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, а также определяем момент инерции сечения $I = b \cdot h^3 / 12 = 10 \cdot 20^3 / 12 = 6667 \text{ см}^4 = 6667 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$.

Напряжение скальвания $\tau = Q \cdot S / (I \cdot b) = 0,021 \cdot 500 \cdot 10^{-6} / (6667 \cdot 10^{-6} \cdot 0,10) = 1,57 \text{ МПа} < R_{ск}$ (формула Журавского).

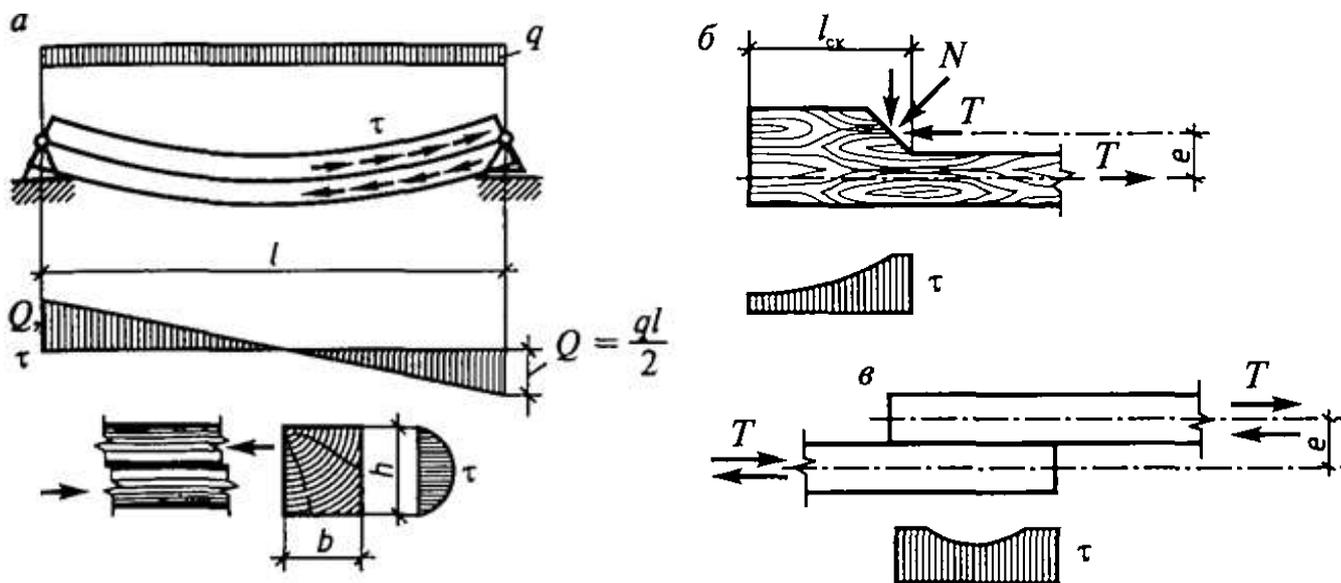


Рисунок 2.8 – Скальваемые элементы: а – скальвание при изгибе; б – то же, при односторонних скальвающих силах; в – то же, при двусторонних скальвающих силах.

2.9 Конструктивные врубки

Конструктивные врубки (рис. 2.9.1) являются соединениями, в которых возникают усилия, намного меньшие их несущей способности, и они не нуждаются в расчете. В деревянных конструкциях наибольшее применение находят конструктивные соединения в четверть, в шпунт, в полдерева и косой прируб.

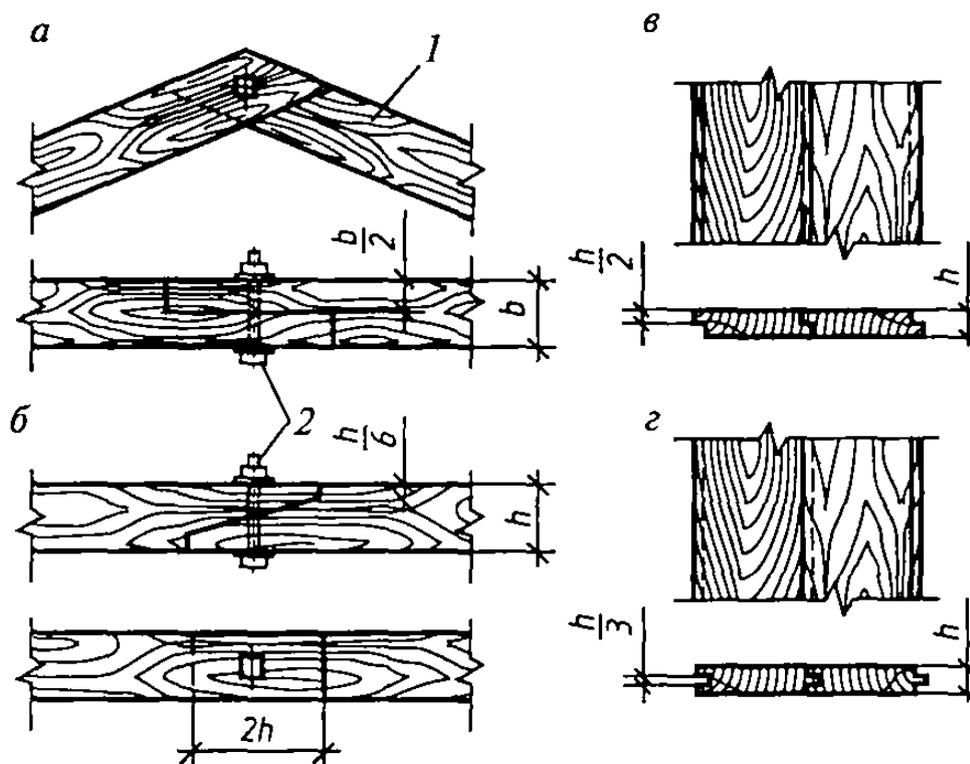


Рисунок 2.9.1 – Конструктивные врубки: а – врубка в полдерева; б – косой прируб; в – сплачивание в четверть; г – сплачивание в шпунт; 1 – строительная нога; 2 – нагельный болт.

Соединение в четверть – сплачивание досок кромками по ширине. Для этого в них механически образуются односторонние пазы глубиной, несколько большей их толщины, в которые входят односторонние выступы соседних досок. Обшивки наружных стен из досок, соединенных в четверть, препятствуют продуванию стен ветром и проникновению в них атмосферных осадков. Сосредоточенные нагрузки в таких обшивках распределяются на две соседние доски.

Соединение в шпунт – сплачивание досок или брусьев кромками, в одной из которых вырезаны двусторонние пазы, а в другой – один средний паз – шпунт, равный примерно трети толщины, в который входит образовавшийся выступ – гребень соседней доски или бруса. Настилы из досок, соединенных в шпунт и гребень, препятствуют просыпанию засыпок перекрытий и обеспечивают совместную работу досок или брусьев на изгиб.

Врубка в полдерева – соединение концов брусьев или бревен с вырезками до половины их толщины, стянутое конструктивным болтом. Так, например, соединяются концы стропильных ног в коньке крыш.

Косой прируб – продольное сращивание брусьев или бревен, в концах которых сделаны односторонние наклонные вырезки длиной, равной удвоенной высоте сечения с торцами, и высотой, равной 0,15 высоты сечения. Косые прирубы стягивают конструктивными болтами и используют для соединения прогонов и балок по длине.

Лобовые упоры (рис. 2.9.2) являются наиболее простыми и надежными соединениями и применяются в большинстве видов деревянных конструкций для крепления сжатых элементов. Они работают и рассчитываются на смятие, возникающее в них от действия продольных сжимающих

усилий. На растяжение они работать не могут.

Продольный лобовой упор – соединение обрезанного под прямым углом сжатого стержня с опорой или с диафрагмой опорного башмака, или с таким же стержнем в сжатом стыке. В стыке лобовой упор скрепляют двусторонними конструктивными деревянными накладками толщиной не менее трети толщины стержней и длиной не менее трех высот сечения и стягивают конструктивными болтами. В продольном лобовом упоре древесина работает на смятие вдоль волокон и имеет наиболее высокое расчетное сопротивление смятию, равное расчетному сопротивлению сжатию. В большинстве случаев напряжения смятия в продольных лобовых упорах достигают значительной величины и требуют проверки прочности в тех случаях, когда на смятие работает только часть площади торца элемента.

Поперечный лобовой упор – соединение двух стержней под прямым углом, когда торец сжатого элемента упирается в пластъ другого и закрепляется неработающими связями. Так, например, соединяются стойки с верхними и нижними горизонтальными элементами каркаса. В таком соединении древесина торца стойки работает на смятие вдоль волокон, а древесина пласти горизонтального элемента – поперек волокон. Это соединение рассчитывают только по меньшей прочности древесины поперек волокон.

Наклонный лобовой упор - представляет собой соединение концов двух сжатых элементов, оси которых расположены под углом α друг к другу. При этом торец одного элемента может быть перпендикулярным его оси или торцы обоих элементов наклонены к их осям (рис. 2.9.2, *в*). Так, например, соединяются стержни стропил и подкосных рам. В этих соединениях необходимо проверять прочность древесины при смятии торцов только расположенных под углом к осям элементов.

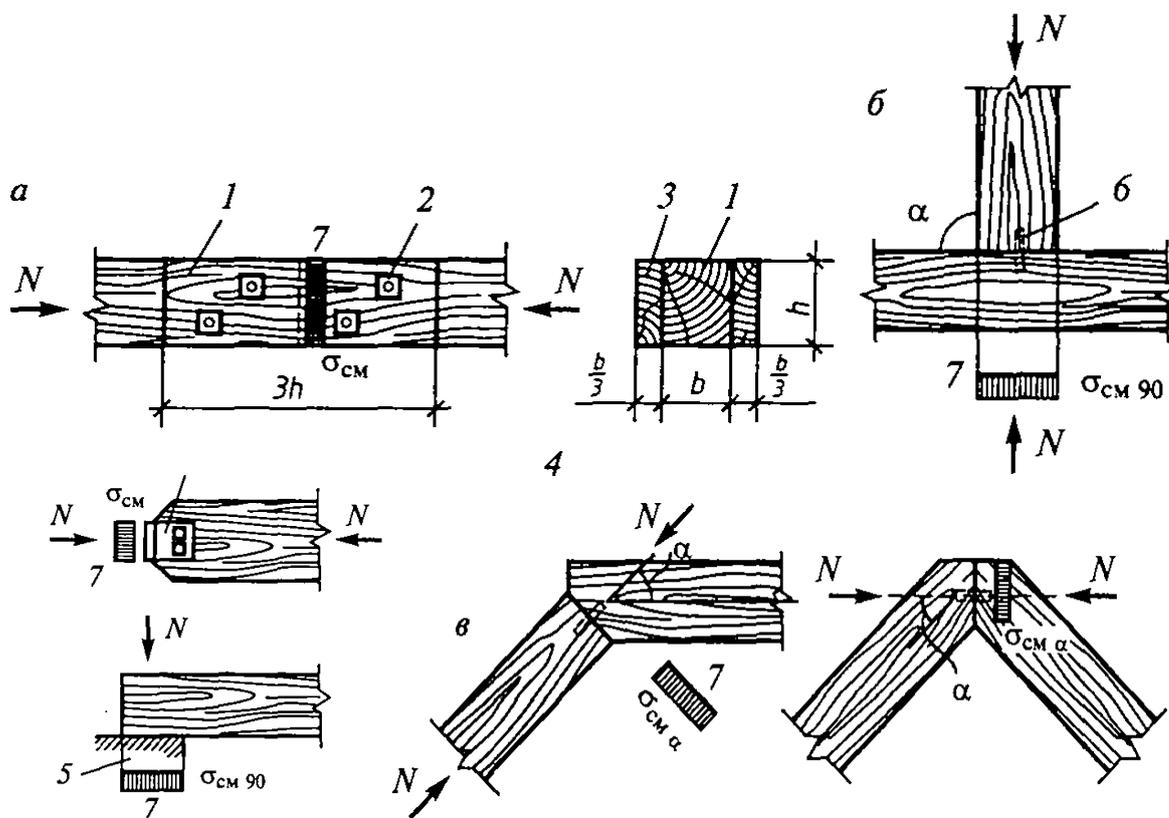


Рисунок 2.9.2 – Лобовые упоры: а – продольный вдоль волокон древесины; б – поперечный поперек волокон; в – наклонный под углом к волокнам; 1 – элементы; 2 – стяжные болты; 3 – накладки; 4 – стальные крепления; 5 – опора; 6 – штырь; 7 – эпюры напряжений смятия; α – угол смятия.

Пример 2.9.1 Проверить прочность поперечного лобового упора при смятии балки, опертой на стойку, сечения которых имеют размеры $b \times h = 15 \times 15$ см. В стойке действует продольная сжимающая сила $N = 55$ кН = 0,055 МН.

Решение. Длина площади смятия $l_{см} = 15$ см. Расчетное сопротивление местному смятию поперек волокон на части длины балки (рис. 1.9.2, б)

$$R_{см90} = R_{с90} [1 + 8 / (l_{см} + 1,2)] = 1,8 [1 + 8 / (15 + 1,2)] = 2,7 \text{ МПа.}$$

$$\text{Площадь смятия } A = b \times h = 15 \times 15 = 225 \text{ см}^2 = 0,0225 \text{ м}^2.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = N / A = 0,055 / 0,0225 = 2,44 \text{ МПа} < R_{см90}.$$

Пример 2.9.2 Проверить прочность при смятии наклонного лобового упора торцов подкоса и ригеля из брусьев, имеющих площадь сечения $A = b \times h = 15 \times 15$ см из древесины 2-го сорта, соединенных под углом $\alpha = 45^\circ$. Конец подкоса обрезан под прямым углом к оси, и в нем действует продольная сжимающая сила $N = 135$ кН = 0,135 МН. Опорный конец ригеля обрезан под углом $\alpha = 45^\circ$ к его оси.

Решение. Угол смятия древесины ригеля $R_{см} = 45^\circ$, $\sin \alpha = 0,707$. Угол смятия древесины подкоса $\alpha = 0$. Расчетные сопротивления древесины ригеля смятию вдоль волокон $R_c = 15$ МПа, под углом 90° к волокнам древесины $R_{см90} = 3$ МПа, под углом $\alpha = 45^\circ$ к волокнам

$$R_{сма} = \frac{R_c}{1 + \left(\frac{R_c}{R_{см90}} - 1\right) \sin^3 \alpha} = \frac{15}{1 + (15/3 - 1) 0,707^3} = 6,2 \text{ МПа}$$

$$\text{Площадь смятия } A = 15 \times 15 = 225 \text{ см}^2 = 0,0225 \text{ м}^2.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = N / A = 0,135 / 0,0225 = 6,0 \text{ МПа} < R_{сма}$$

2.10 Стальные связи

Соединения со стальными связями – соединения деревянных элементов, в которых действующие в них усилия передаются с помощью стальных болтов, стержней, гвоздей, винтов, хомутов, зубчатых пластинок и других изделий. Наиболее распространенными стальными связями являются болты и гвозди.

Болты представляют собой стандартизованные изделия из малоуглеродистой стали. Болты, применяемые в деревянных конструкциях, изготавливают без точной обработки и называют *черными*. Они отличаются большой длиной, соответствующей значительным размерам сечений деревянных элементов, и имеют толстые квадратные шайбы, необходимые для распределения усилия в болте на достаточную площадь древесины, работающую на смятие. Наибольшее распространение получили болты с диаметрами 12, 16 и 20 мм.

Для постановки болтов в соединяемых элементах просверливают отверстия такого же диаметра, что и болты. Для надежного совпадения отверстий при сборке конструкций сверлить отверстия рекомендуется одним проходом сверла через соединяемые элементы или в отдельных элементах по шаблонам. Болтовые соединения бывают со стяжными, растянутыми и изгибаемыми болтами.

Соединения на стяжных болтах - служат для плотного соединения отдельных элементов при их поперечном сплачивании и в некоторых узлах конструкций. В них могут возникать лишь незначительные усилия, поэтому их расчет не требуется. Сечения стяжных болтов устанавливаются по конструктивным соображениям. Диаметр стяжных болтов должен быть не меньше 12 мм и не менее 1/20 общей толщины соединяемых элементов. Шайбы стяжных болтов допускаются размерами не менее 3,5 их диаметра и толщиной до 0,25 диаметра. В первые годы эксплуатации конструкций в результате усушки древесины их натяжение нередко ослабевает и они нуждаются в подтяжке.

Соединения на растянутых болтах - применяют при анкерном креплении деревянных конструкций к опорам, при подвеске к конструкциям перекрытий и оборудования и в узловых соединениях. Они работают и рассчитываются на действующие в соединениях растягивающие силы от расчетных нагрузок (рис. 2.10.1).

Пример 2.10.1 Рассчитать крепление прогонов подвесного перекрытия к стропильным

фермам с помощью растянутых болтов. В каждом соединении действует растягивающая сила $N = 46 \text{ кН} = 0,046 \text{ МН}$. Расчетное сопротивление стали $R = 235 \text{ МПа}$. Расчетное сопротивление древесины местному смятию под шайбами поперек волокон $R_{см 90} = 4 \text{ МПа}$.

Решение. Требуемая площадь сечения болта по нарезке:

$A_{mp} = N / (0,8 \cdot R) = 0,046 / (0,8 \cdot 235) = 2,45 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 2,45 \text{ см}^2$. Согласно сортамента принят болт диаметром $d = 2 \text{ см}$. Площадь сечения болта по нарезке $A = 2,49 \text{ см}^2 > A_{mp}$.

Требуемая площадь смятия под шайбой $A_{mp} = N / R_{см 90} = 0,044 / 4 = 115 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 115 \text{ см}^2$.

Принимается квадратная шайба с размерами сторон $b = 11 \text{ см}$.

Площадь смятия под шайбой $A = b^2 - \pi \cdot d^2 / 4 = 11^2 - 3,14 \cdot 2^2 / 4 = 118 \text{ см}^2 = 0,0118 \text{ м}^2$.

Напряжение смятия $\sigma = N / A = 0,046 / 0,0118 = 3,9 \text{ МПа}$.

Максимальный изгибающий момент в сечении шайбы $M = Nb / 16 = 0,046 \cdot 0,11 / 16 = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ МНм}$.

Требуемые момент сопротивления и толщина шайбы:

$W_{mp} = M / R = 2,9 \cdot 10^{-4} / 235 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 1,2 \text{ см}^3$; $\delta_{mp} = \sqrt{6W / (b - d)} = \sqrt{6 \cdot 1,2 / (11 - 2)} = 0,895 \text{ см}$.

Принимаем шайбу толщиной $\delta = 9 \text{ мм}$.

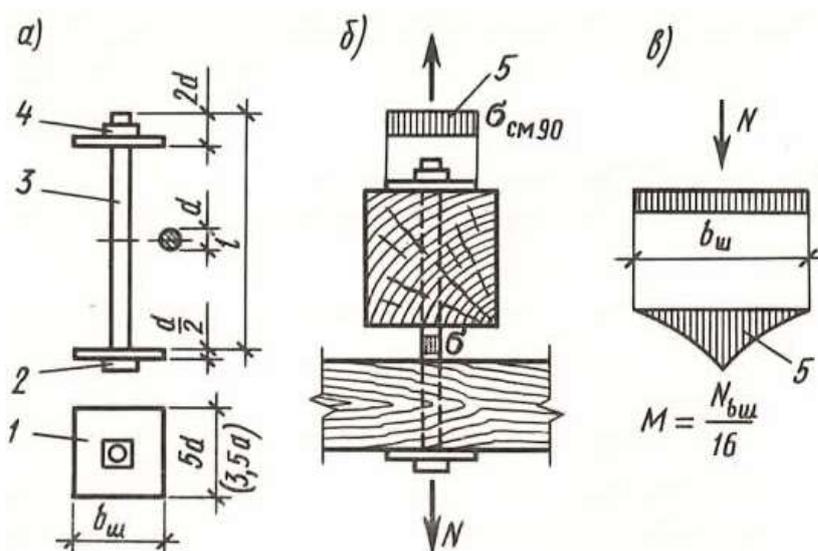


Рисунок 2.10.1 – Соединение на растянутых болтах: а – болт; б – схема работы болта и древесины; в – схема работы шайбы; 1 – шайба; 2 – головка; 3 – стержень; 4 – гайка; 5 – эпюры напряжений.

Соединения на изгибаемых болтах - относятся к классу так называемых нагельных (рис. 2.10.2), в которых связи (в данном случае болты) работают главным образом на изгиб и в незначительной степени на срез. Эти соединения широко применяют в стыках и узлах деревянных конструкций, препятствуя взаимным сдвигам соединяемых элементов, причем усилия в них могут быть знакопеременными, сжимающими и растягивающими. Шайбы этих болтов не воспринимают расчетных усилий и могут иметь такие же размеры, как и у стяжных болтов. От действия продольных сил в таком соединении по площади контакта болта со стенками отверстия в древесине возникают неравномерные по периметру и длине напряжения смятия, а также растяжения поперек волокон между отверстиями. В результате реактивного давления древесины в болте возникают усилия изгиба и среза.

Расстановка болтов в соединении бывает прямая, шахматная и производится по правилам, исключая опасность преждевременного разрушения древесины от скалывания и растяжения поперек волокон. Расстояния между осями болтов вдоль волокон древесины и до торцов элемента должны быть не меньше $7 \cdot d$, а поперек волокон между осями – не более $3,5 \cdot d$ и до кромок – $3 \cdot d$.

Болтовые соединения могут быть *симметричными*, когда продольные силы действуют вдоль оси симметрии соединения, и *несимметричными*, когда оси сил не совпадают с осями элементов. Соединяемые элементы могут располагаться на одной оси вдоль волокон древесины или под углом

друг к другу. Швами, или срезами, в болтовых соединениях называют плоскости сдвига между элементами, от числа которых зависит несущая способность соединения. Однако напряжения среза в сечениях болтов незначительны и не определяют их несущей способности. Например, наиболее распространенный болтовой стык растянутых элементов с двусторонними деревянными накладками является симметричным двухсрезным соединением, а такой же стык с односторонней накладкой – несимметричным односрезным соединением (рис. 2.10.2).

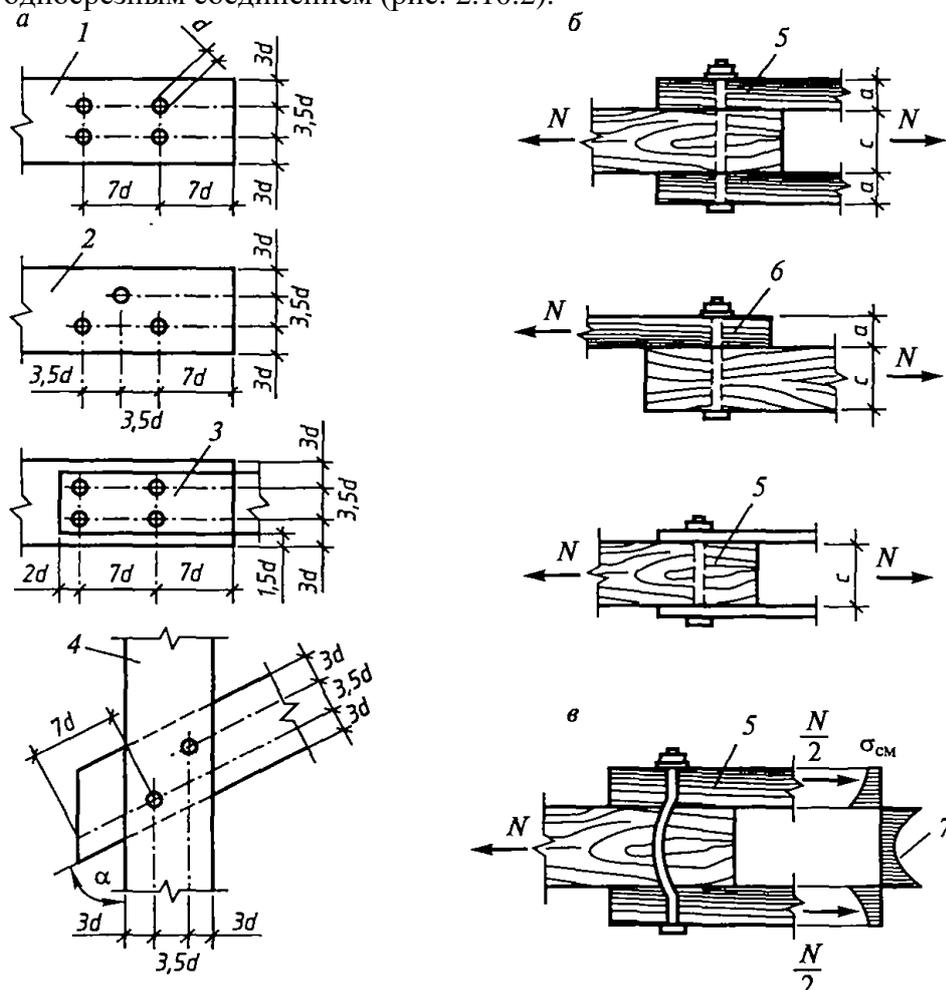


Рисунок 2.10.2 – Соединения на изгибаемых болтах:

а – схемы расстановки; б – расчетные схемы; в – схема работы;

1 – прямая расстановка; 2 – то же, шахматная; 3 – при стальных накладках;

4 – в соединениях под углом; 5 – симметричное двухсрезное соединение;

6 – несимметричное односрезное; 7 – эпюра напряжений смятия древесины.

Пример 2.10.2 Подобрать сечение и определить необходимое число изгибаемых болтов в стыке двух брусьев сечением $b \times h = 15 \times 20$ см с двусторонними деревянными накладками сечением $b_n \times h_n = 8 \times 20$ см. В брусьях действуют продольные растягивающие силы $N = 160$ кН.

Решение. Диаметр болтов находим из условия их расстановки в два продольных ряда $d \leq h / 9,5 = 20 / 9,5 = 2,1$ см. Принимаем диаметр $d = 2$ см (округляем в меньшую сторону для обеспечения прочности древесины скалыванию). Соединение симметричное двухсрезное, $n_{ш} = 2$ (количество плоскостей срезов), вдоль волокон $\alpha = 0^\circ$, $K\alpha = 1$. Толщина средних элементов $c = b = 15$ см, крайних (накладок) $a = b_n = 8$ см.

Несущая способность болта из условия изгиба болта $T_u = 1,8 \cdot d^2 + 0,02 \cdot a^2 = 1,8 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 8^2 = 8,5$ кН.

Несущая способность болта из условия смятия основного элемента $T_c = 0,5 \cdot c \cdot d = 0,5 \cdot 15 \cdot 2 = 15$ кН.

Несущая способность болта из условия смятия накладок $T_a = 0,8 \cdot a \cdot d = 0,8 \cdot 8 \cdot 2 = 12,8$ кН. Расчетное минимальное значение $T = 8,5$ кН. Требуемое число болтов $n_{mp} = N / (T \cdot n_{ш}) = 16 / (8,5 \cdot 2) = 9,4$ шт.

Гвоздевые соединения - просты, но трудоемки и применяются в основном при небольшом

объеме изготавливаемых конструкций (рис. 2.10.3). Гвозди изготавливают из холоднокатанной стальной проволоки в соответствии с ГОСТом. Острие гвоздя имеет четырехгранную форму и длину, равную полутора диаметрам. Шляпка имеет диаметр, равный двум диаметрам гвоздя. Наибольшее применение в деревянных конструкциях находят гвозди диаметром 3, 4, 5 и 6 мм и длиной соответственно 80, 100, 150 и 200 мм. Гвозди забивают в цельную древесину ручным или пневматическим молотком.

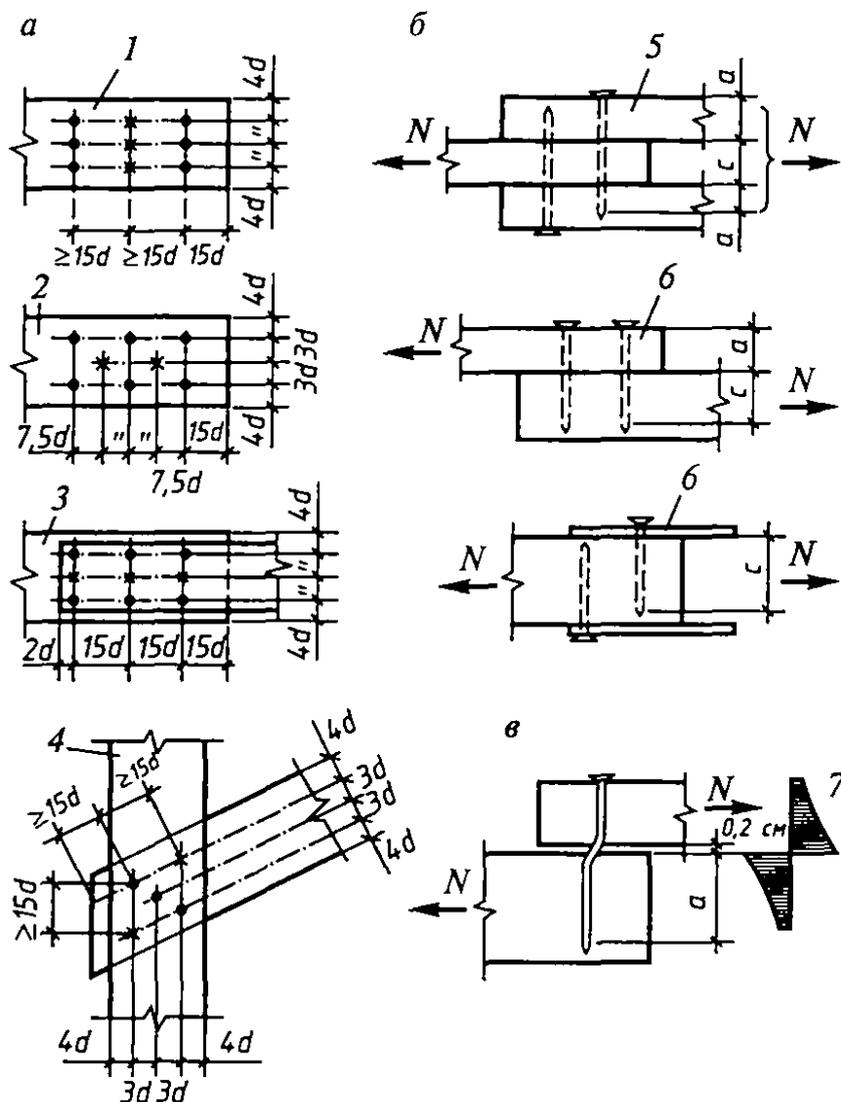


Рисунок 2.10.3 – Соединения на изгибаемых гвоздях:
 а – схемы расстановки; б – расчетные схемы; в – схема работы;
 1, 2 – прямая и шахматная расстановка; 3 – в стальных накладках;
 4 – в соединениях под углом; 5 – симметричное двухсрезное соединение;
 6 – несимметричное одно- срезное; 7 – эпюра напряжений смятия древесины.

Гвоздь при забивке частично раздвигает и разрывает волокна древесины, образуя в ней отверстие с уплотненными стенками. Благодаря этому он прочно зажимается в древесине и хорошо сопротивляется выдергиванию, однако по этой же причине в ней возникают дополнительные напряжения растяжения поперек волокон. Кроме того, малая изгибная жесткость гвоздей приводит к повышенной ползучести гвоздевых соединений. Поперечному расхождению стыков препятствуют стяжные болты.

Правила расстановки гвоздей в соединениях исключают опасность раскалывания древесины соединяемых элементов, которая повышается по мере уменьшения их толщины, и поэтому диаметр гвоздей должен быть не более четверти толщины элементов. Расстояние между осями гвоздей диаметром d вдоль волокон древесины соединяемых элементов должно быть не менее: от торцов – $15 \cdot d$,

между осями в элементах толщиной, равной и большей $10 \cdot d - 15 \cdot d$, между осями в элементах толщиной $4 \cdot d - 25 \cdot d$, а в элементах промежуточной толщины это расстояние принимается по интерполяции. Расстояние между осями гвоздей поперек волокон и до кромок элементов должно быть при прямой расстановке не менее $4 \cdot d$, при шахматной и косой – не менее $3 \cdot d$ (рис. 2.10.3). Соединения на конструктивных гвоздях применяют для крепления обшивок и настилов, в которых гвозди не несут расчетных усилий и не рассчитываются.

Соединения на выдергиваемых гвоздях относят к классу соединений с растянутыми связями (рис. 2.10.4). Их применяют для крепления досок подшивок потолков, щитов перекрытий и опалубки железобетона. От действия нагрузок в них возникают растягивающие силы N , стремящиеся выдернуть гвозди из древесины элемента, к которому прибиты доски. Этому усилию сопротивляются силы трения между поверхностью гвоздей и окружающей древесиной.

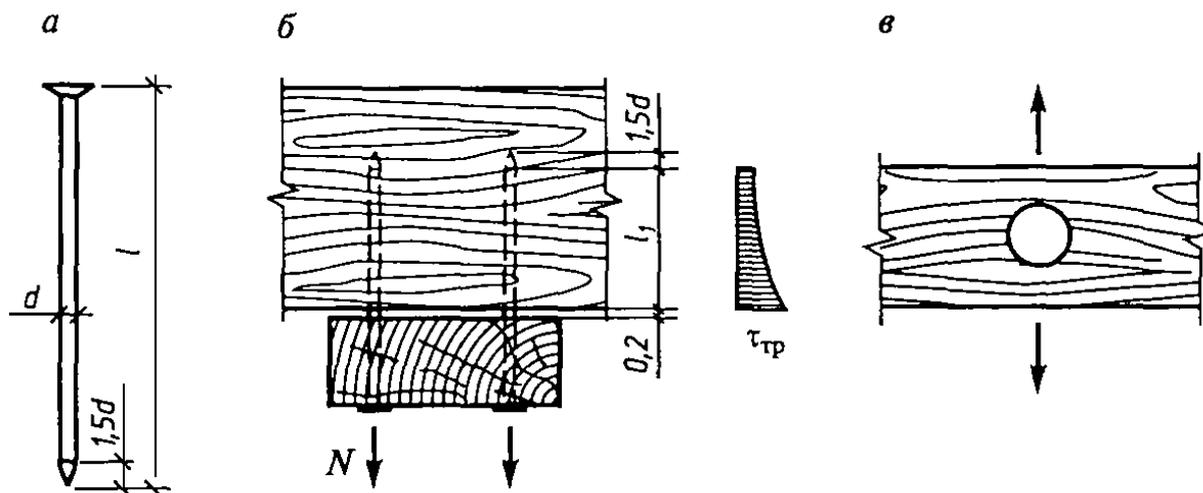


Рисунок 2.10.4 – Соединение на выдергиваемых гвоздях:
 а – гвоздь; б – схема работы и эпюра напряжений трения; в – деформация древесины.

Пример 2.10.3 Определить расчетную несущую способность гвоздя диаметром $d = 0,5 \text{ см} = 0,005 \text{ м}$ и длиной $l = 10 \text{ см}$, забитого в сухую древесину на глубину $l_1 = 8 \text{ см}$.

Решение. Расчетное сопротивление гвоздя, забитого в сухую древесину поперек волокон, $R_{в.г} = 0,3 \text{ МПа}$. Расчетная длина гвоздя за вычетом длины острия $l_1 = l - 1,5 \cdot d = 8 - 1,5 \cdot 0,5 = 7,25 \text{ см} = 0,0725 \text{ м}$.

Расчетная несущая способность гвоздя при выдергивании $T_{в.г.} = R_{в.г} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 = 0,3 \cdot 3,14 \cdot 0,005 \cdot 0,0725 = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ МН} = 0,34 \text{ кН}$.

Соединения на изгибаемых гвоздях

Гвозди имеют повышенную по сравнению с болтами прочность, поскольку холоднотянутая проволока, из которой они изготовлены, имеет более высокий предел текучести. Ввиду малой толщины и плотного защемления в древесине несущая способность гвоздевых соединений не зависит от угла действия усилий по отношению к направлению волокон древесины соединяемых элементов и при расчете не учитывается. Если гвоздь пробивает все элементы насквозь, расчетная длина его при забивке элемента уменьшается на 1,5 см, создавая опасность отщепления крайних волокон при выходе острия. Если гвоздь не пробивает соединения насквозь, учитывается только глубина его защемления в последнем элементе, определяемая так же, как и l_1 у выдергиваемых гвоздей при условии, что она не менее $4 \cdot d$. Несущую способность гвоздя в одном срезе по прочности при изгибе определяют из выражения $T_u = 2,5 \cdot d^2 + 0,01 \cdot a^2$ кН, но не менее $4 \cdot d^2$.

Несущую способность одного среза гвоздя по прочности древесины при смятии c среднего и a крайних элементов рассчитывают по тем же формулам, как и соединения на изгибаемых болтах. Несущая способность гвоздя в одном срезе T является наименьшей из вычисленных.

Соединения на изгибаемых гвоздях и со стальными накладками применяют в узлах некоторых конструкций. Гвозди при этом забивают через отверстия, просверленные в стальных накладках. Это соединение по отношению к работе гвоздей является несимметричным и односрезным. Несущую способность гвоздя в одном срезе определяют из соответствующего выражения для болтовых соединений с учетом глубины его защемления в древесине a , а по его изгибу – с учетом его частичного защемления в отверстии накладки из выражения $T_u = 4 \cdot d^2$.

Пример 2.10.4 Подобрать размер и число гвоздей. Требуемых для крепления вертикальной доски сечением $b \times h = 5 \times 15$ см, в которой действует продольная растягивающая сила $N = 12$ кН, к двум горизонтальным доскам такого же сечения. Конец вертикальной доски пропускается между двумя вертикальными досками и соединяется гвоздями $d = 0,5$ см и длиной $l = 15$ см.

Решение. Соединение двухсрезное ($n_{ш} = 2$), симметричное. Толщина элемента $c = 5$ см. Длина защемленной части гвоздя в крайней доске с учетом длины острия $l_0 = 1,5 \cdot d = 1,5 \times 0,5 = 0,75$ см и возможных щелей между досками $ш = 0,2$ см определяется по формуле $a = l - 2 \cdot b - l_0 - 2 \cdot ш = 15 - 2 \cdot 5 - 0,75 - 2 \cdot 0,2 = 3,83$ см.

Несущая способность гвоздя в одном шве:

По изгибу гвоздя $T_u = 2,5 \cdot d^2 + 0,01 \cdot a^2 = 2,5 \cdot 0,5^2 + 0,01 \cdot 3,83^2 = 0,77$ кН.

По смятию средней доски $T_c = 0,5 \cdot c \cdot d = 0,5 \cdot 5 \cdot 0,5 = 1,25$ кН.

По смятию крайней доски $T_a = 0,8 \cdot a \cdot d = 0,8 \cdot 3,83 \cdot 0,5 = 1,54$ кН.

Расчетная несущая способность гвоздя $T = T_u = 0,77$ кН.

Требуемое число гвоздей $n_{гр} = N / (T \cdot n_{ш}) = 12 / (0,77 \cdot 2) = 7,8$ шт.

Ставится 8 гвоздей диаметром $d = 5$ мм и длиной $l = 150$ мм, по 4 гвоздя с каждой стороны стыка и один стяжной болт диаметром $d_{б} = 12$ мм конструктивно, без расчета.

3 ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовое проектирование – важный раздел изучения курса "Конструкции из дерева и пластмасс". Цели курсового проектирования заключаются в следующем:

- закрепление теоретических знаний, полученных в процессе изучения дисциплины;
- развитие навыков расчета и конструирования несущих и ограждающих конструкций из древесины и пластических масс;
- выработка навыков самостоятельной работы с научно-технической и нормативной литературой.

В процессе выполнения курсового проекта, каждый студент должен выбрать наиболее рациональное конструктивное решение проектируемого здания (рассчитать и законструировать основные несущие и ограждающие конструкции, узловые соединения, а также выбрать мероприятия по защите элементов здания от гниения и возгорания). Все принятые конструктивные решения и расчетные алгоритмы должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов.

3.1 Содержание курсового проекта и курсовой работы

Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. По второй цифре номера варианта задания находят схему задания, тип несущих и ограждающих конструкций. Основные размеры поперечника и район строительства берут из таблицы рядом со схемой.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 30-35 страниц и чертежей на 1–2 листах формата А1, выполненных с обязательным соблюдением правил графического оформления, масштабов и условных обозначений, соответствующих требованиям ЕСКД и ГОСТов.

Все расчеты следует выполнять в системе СИ в полном соответствии с требованиями СП 64.13330.2011 "Деревянные конструкции. Нормы проектирования" и СП 20.13330.2011 "Нагрузки и воздействия". Статический и конструктивный расчеты элементов здания в комплексе или расчет отдельных элементов могут выполняться с применением вычислительной техники. В этом случае, в пояснительной записке следует изложить принципы алгоритма расчета и расчетные схемы.

3.2 Оформление расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать следующие разделы с общепринятой нумерацией:

Исходные данные.

1. Введение.
2. Компонировка конструктивной схемы здания.
3. Расчетные схемы несущих и ограждающих конструкций здания и действующие нагрузки.
4. Расчет и конструирование ограждающих конструкций.
5. Расчет и конструирование несущих конструкций.
6. Расчет стропильной конструкции.
7. Расчет колонны.
8. Обеспечение пространственной устойчивости здания.
9. Мероприятия по обеспечению долговечности деревянных и металлических элементов конструкций.
10. Расход материалов на несущие и ограждающие конструкции.
11. Список используемых источников.

3.3 Оформление графического материала курсового проекта

Графическая часть проекта включает:

1. Поперечный разрез здания с показом конструкции покрытия и стенового ограждения в масштабе 1:100 или 1:200.
2. План покрытия со схемами раскладки прогонов, щитов, плит и связей по ригелю и колоннам в масштабе 1:200.
3. Совмещенные геометрические и расчетные схемы поперечника здания и стропильной системы с указанием основных размеров и всех нагрузок в кН/м (масштаб 1:200).
4. Рабочие чертежи несущих конструкций (половины фермы, полурамы, полуарки в двух вариантах, колонны) в масштабе 1:20, 1:40, 1:50.
5. Узлы и детали со всеми необходимыми размерами (масштаб 1:10).
6. Чертежи конструкций покрытия: прогоны, щиты, клефанерные плиты.
7. Спецификации деревянных и металлических элементов и расход материалов.
8. Указания по производству работ.

Все размеры на чертежах следует указывать в мм.

3.4 Задание на выполнение курсового проекта

Задание скомпоновано таким образом: на одном развороте указаний представлены габариты здания, шаг несущих конструкций (в таблице) и расчетная схема. Задание для конкретного варианта выбирается следующим образом: Пролет, шаг конструкций, высота и район строительства – в строке соответствующего варианта из таблицы. Рядом, на соседней странице, расположена рабочая схема, тип несущих и ограждающих конструкций (одна схема на десять вариантов). **Длина здания принимается равной 11 шагам несущих конструкций.**

Таблица 3.1 – Интенсивность снеговой и ветровой нагрузки, *кПа*

Город	Снеговая, S_0	Ветровая, W_0
Архангельск	2,4	0,60
Новороссийск	1,2	0,73
Краснодар	1,2	0,48
Саратов	1,8	0,60
Самара	2,4	0,60
Пермь	3,2	0,48
Тикси	2,4	0,60
Белгород	1,8	0,60
Москва	1,8	0,48
Сыктывкар	3,2	0,48

Таблица 3.2 – Исходные данные к вариантам 01–10, 101-104

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
01	18	3	6,5	Архангельск
02	12	6	4	Новороссийск
03	14	3	4,5	Краснодар
04	15	4,5	5	Саратов
05	16	6	5,5	Самара
06	18	4,5	6	Пермь
07	19	3	6,5	Тикси
08	9	4,5	4,2	Белгород
09	12	4,5	4,5	Москва
10	15	3	5,5	Сыктывкар
101	10	5,5	4	Архангельск
102	14	6,5	4,5	Новороссийск
103	16	3,5	5	Краснодар
104	18	4,5	5,5	Саратов

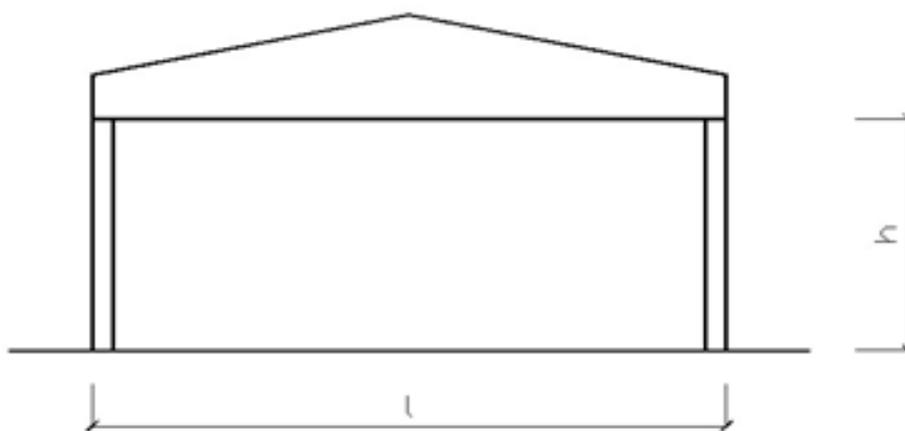


Рисунок 3.1 – Расчетная схема к вариантам 01–10, 101–104.
Система «Колонна – дощатая (клеедеревянная) балка»

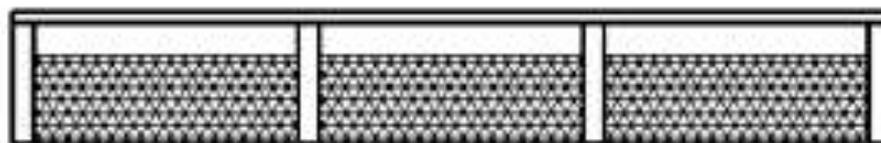


Рисунок 3.2 – Тип покрытия к вариантам 01–10, 101–104:
утепленная клефанерная плита покрытия под рубероидную кровлю

Таблица 3.3 – Исходные данные к вариантам 11–20, 105-108

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
11	20	3	6,5	Архангельск
12	16	4,5	6	Новороссийск
13	12	4,5	4,8	Краснодар
14	15	4,5	5,5	Саратов
15	15	3	6	Самара
16	18	3	6,5	Пермь
17	18	4,5	9	Тикси
18	15	6	6,5	Белгород
19	12	3	5	Москва
20	21	4,5	7	Сыктывкар
105	10	5,5	4	Архангельск
106	14	6,5	4,5	Новороссийск
107	16	3,5	5	Краснодар
108	18	4,5	5,5	Саратов

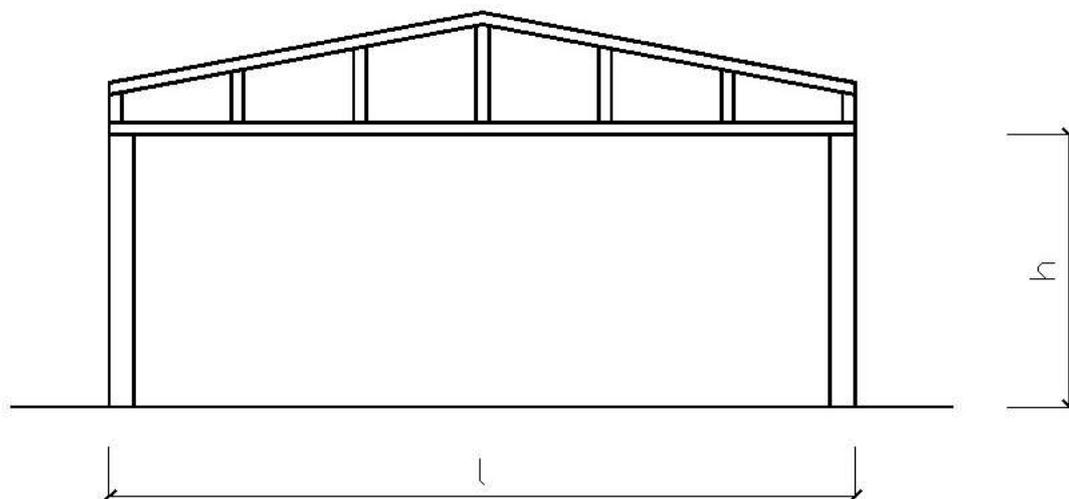


Рисунок 3.3 – Расчетная схема к вариантам 11–20, 105–108.
Система «Колонна – клефанерная балка с плоской стенкой»

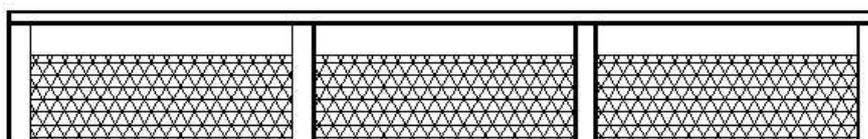


Рисунок 3.4 – Тип покрытия к вариантам 11–20, 105–108:
утепленная клефанерная плита покрытия под рубероидную кровлю

Таблица 3.4 – Исходные данные к вариантам 21–30, 109–112

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
21	12	4,5	4	Архангельск
22	10	4,5	4,2	Новороссийск
23	9	3	4	Краснодар
24	21	3	7,5	Саратов
25	20	3	5,5	Самара
26	19	6	6,5	Пермь
27	18	4,5	6	Тикси
28	16	3	5,5	Белгород
29	15	6	5	Москва
30	14	4,5	4,5	Сыктывкар
109	10	5,5	4	Архангельск
110	14	6,5	4,5	Новороссийск
111	16	3,5	5	Краснодар
112	18	4,5	5,5	Саратов

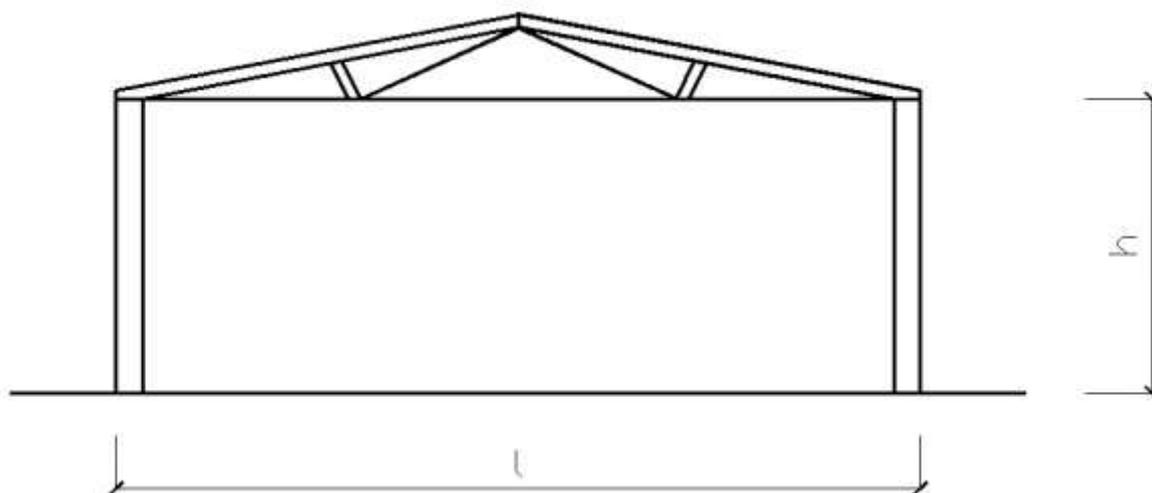


Рисунок 3.5 – Расчетная схема к вариантам 21–30, 109–112.
Система «Колонна – треугольная ферма с дощатоклееным верхним поясом»

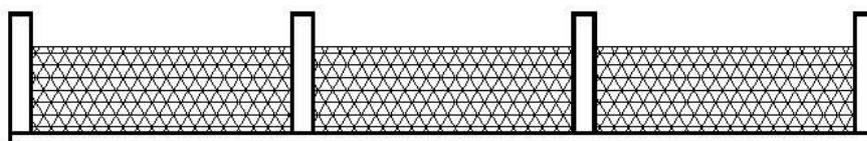


Рисунок 3.6 – Тип покрытия к вариантам 21–30, 109–112:
утеплённая клефанерная плита под асбестоцементную кровлю

Таблица 3.5 – Исходные данные к вариантам 31–40, 113–116

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
31	18	4,5	4,5	Архангельск
32	12	6	5,5	Новороссийск
33	15	6	9,5	Краснодар
34	16	6	9	Саратов
35	17	6	7	Самара
36	20	4,5	8,5	Пермь
37	24	3	7,5	Тикси
38	22	3	6	Белгород
39	21	4,5	6,5	Москва
40	23	3	5	СЫКТЫВКАР
113	10	5,5	4	Архангельск
114	14	6,5	4,5	Новороссийск
115	16	3,5	5	Краснодар
116	18	4,5	5,5	Саратов

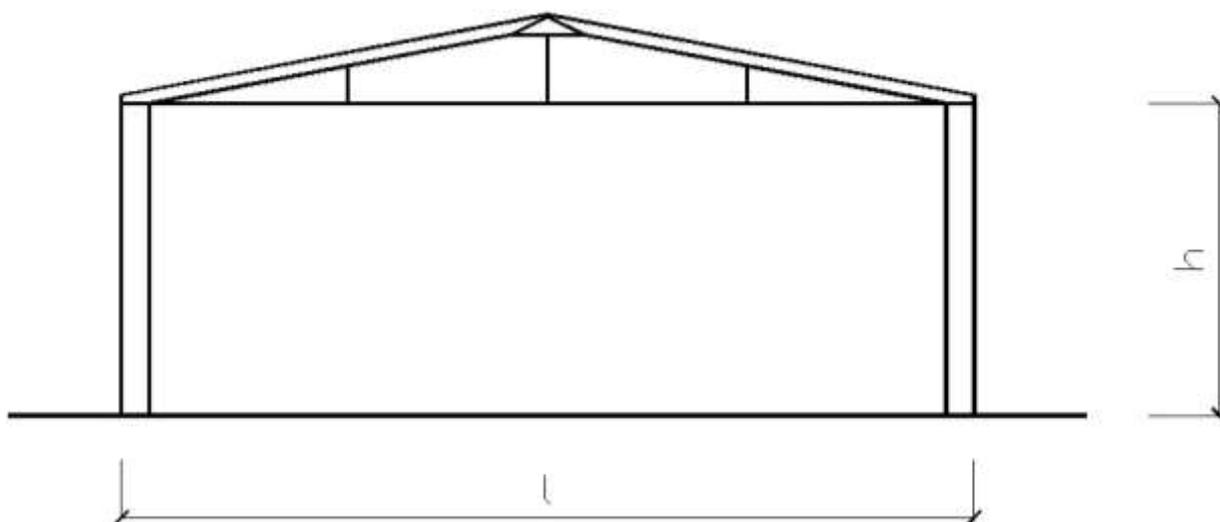


Рисунок 3.7 – Расчетная схема к вариантам 31–40, 113–116.
Система «Колонна – дощатклееная распорная система треугольного очертания»

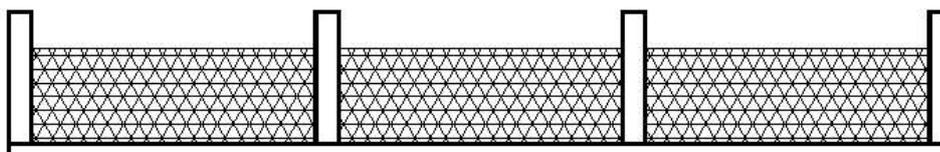


Рисунок 3.8 – Тип покрытия к вариантам 31–40, 113–116:
утеплённая клефанерная плита под асбестоцементную кровлю

Таблица 3.6 – Исходные данные к вариантам 41–50, 117-120

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
41	22	6	8	Архангельск
42	21	6	4,5	Новороссийск
43	24	4,5	5,5	Краснодар
44	14	4,5	6	Саратов
45	15	4,5	8	Самара
46	16	6	5	Пермь
47	20	3	4,5	Тикси
48	18	6	4	Белгород
49	12	3	7	Москва
50	19	4,5	7,5	Сыктывкар
117	10	5,5	4	Архангельск
118	14	6,5	4,5	Новороссийск
119	16	3,5	5	Краснодар
120	18	4,5	5,5	Саратов

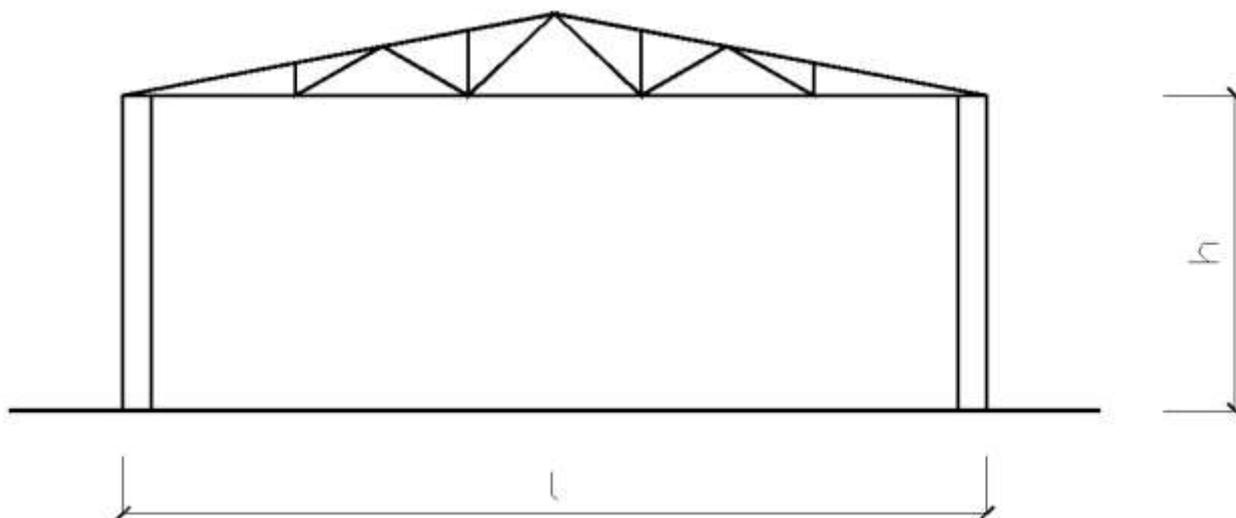


Рисунок 3.9 – Расчетная схема к вариантам 41–50, 117-120.
Система «Колонна – дощатая ферма»

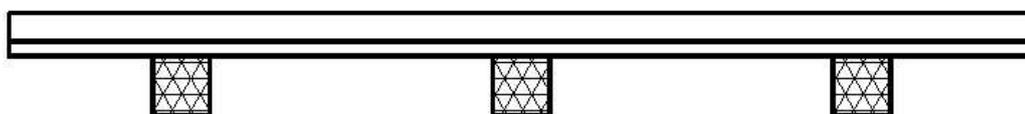


Рисунок 3.10 – Тип покрытия к вариантам 41–50, 117-120:
покрытие из волнистых листов стеклопластика по разрезным прогонам

Таблица 3.7 – Исходные данные к вариантам 51–60, 121-124

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, <i>l</i>	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, <i>B</i>	ВЫСОТА, <i>h</i>	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
51	27	3	10	Архангельск
52	15	4,5	5	Новороссийск
53	16	3	6	Краснодар
54	18	3	5,5	Саратов
55	19	6	6,5	Самара
56	20	3	7	Пермь
57	21	4,5	8	Тикси
58	22	4,5	8,5	Белгород
59	23	6	9	Москва
60	24	3	9,5	Сыктывкар
121	10	5,5	4	Архангельск
122	14	6,5	4,5	Новороссийск
123	16	3,5	5	Краснодар
124	18	4,5	5,5	Саратов

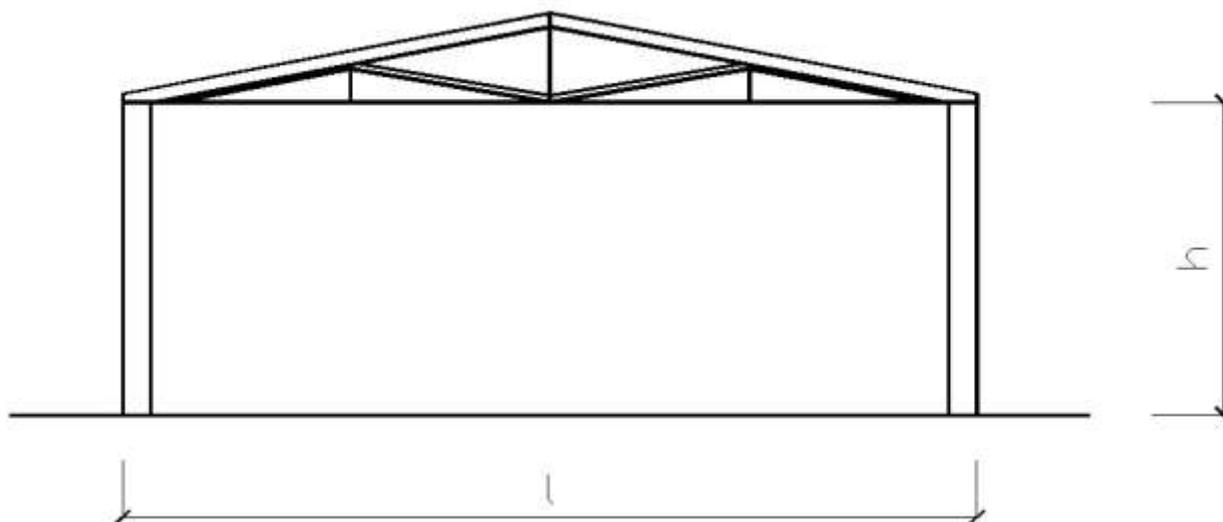


Рисунок 3.11 – Расчетная схема к вариантам 51–60, 121-124.
Система «Колонна – металлодеревянная треугольная ферма с брусчатыми элементами»

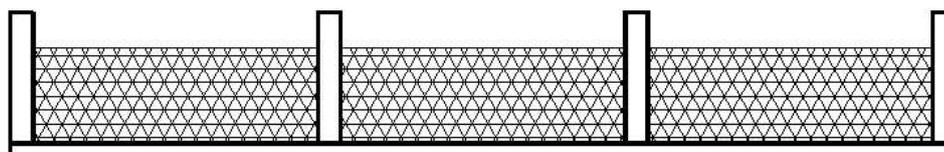


Рисунок 3.12 – Тип покрытия к вариантам 51–60, 121-124:
утеплённая клефанерная плита под асбестоцементную кровлю

Таблица 3.8 – Исходные данные к вариантам 61–70, 125-128

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
61	10	2	7,5	Архангельск
62	9	2	3,6	Новороссийск
63	15	1,5	3,5	Краснодар
64	11	2	3,5	Саратов
65	17	1,5	6	Самара
66	16	1,5	5,5	Пермь
67	14	1,5	4	Тикси
68	15	1	5	Белгород
69	13	2	4,5	Москва
70	12	1,5	7	Сыктывкар
125	10	5,5	4	Архангельск
126	14	6,5	4,5	Новороссийск
127	16	3,5	5	Краснодар
128	18	4,5	5,5	Саратов

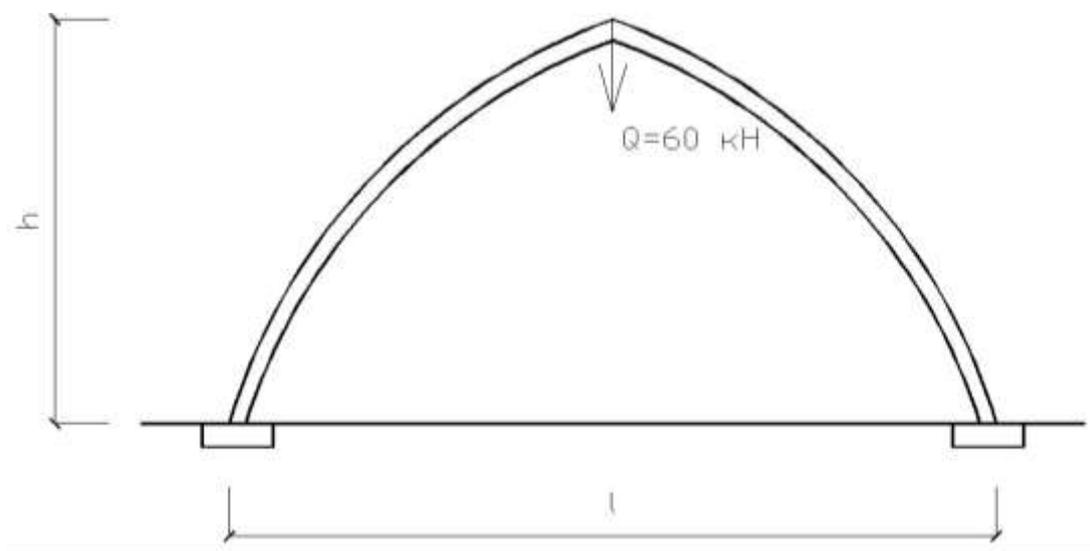


Рисунок 3.13 – Расчетная схема к вариантам 61–70, 125-128.
Система «Стрельчатая арка с опиранием на фундамент»

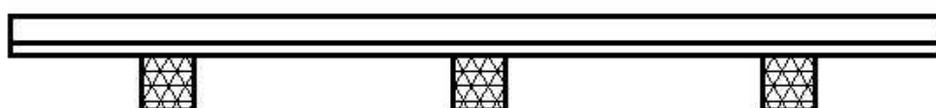


Рисунок 3.14 – Тип покрытия к вариантам 61–70:
покрытие из волнистых листов стеклопластика по разрезным прогонам

Таблица 3.9 – Исходные данные к вариантам 71–80, 130-132

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
71	18	3	9	Архангельск
72	33	6	14	Новороссийск
73	30	4,5	12	Краснодар
74	27	3	12	Саратов
75	36	6	18	Самара
76	21	4,5	11	Пермь
77	24	6	10	Тикси
78	22	3	9,5	Белгород
79	21	6	8	Москва
80	20	6	8,5	СЫКТЫВКАР
129	10	5,5	4	Архангельск
130	14	6,5	4,5	Новороссийск
131	16	3,5	5	Краснодар
132	18	4,5	5,5	Саратов

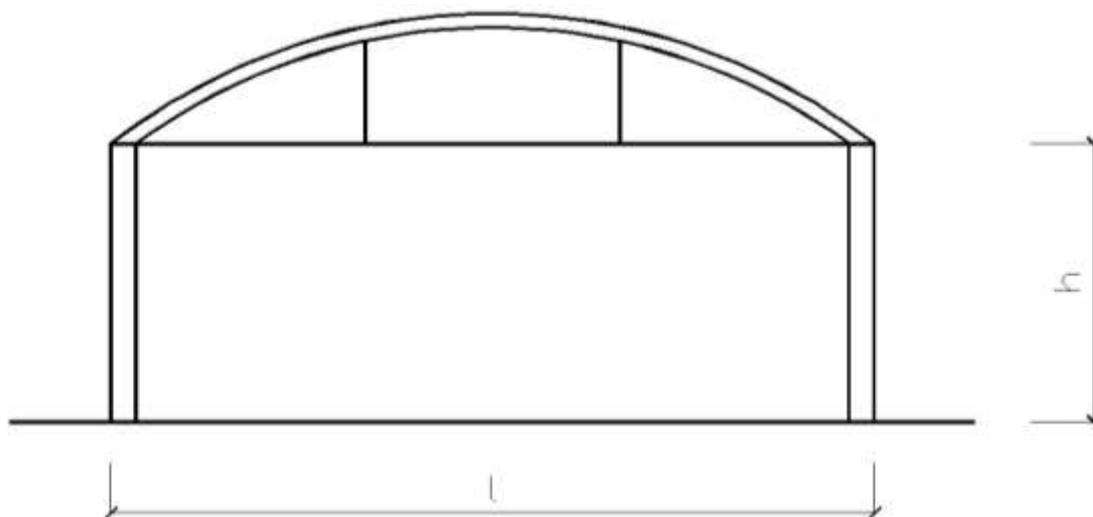


Рисунок 3.15 – Расчетная схема к вариантам 71–80, 130-132.
Система «Колонна – дощатоклееная арка со стальной затяжкой»

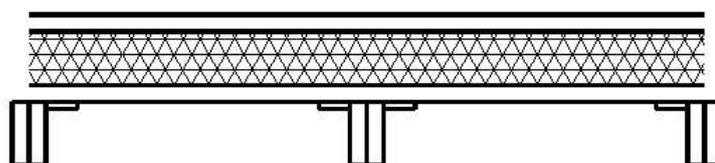


Рисунок 3.16 – Тип покрытия к вариантам 71–80, 130-132: дощатый настил по неразрезным прогонам из спаренных досок под рулонную кровлю утепленного покрытия

Таблица 3.10 – Исходные данные к вариантам 81–90, 133-136

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
81	30	6	18	Архангельск
82	18	3	8	Новороссийск
83	20	6	8,5	Краснодар
84	21	4,5	9	Саратов
85	24	3	9,5	Самара
86	27	3	10,5	Пермь
87	30	4,5	11	Тикси
88	25	6	10	Белгород
89	33	3	12	Москва
90	36	4,5	14	Сыктывкар
133	10	5,5	4	Архангельск
134	14	6,5	4,5	Новороссийск
135	16	3,5	5	Краснодар
136	18	4,5	5,5	Саратов

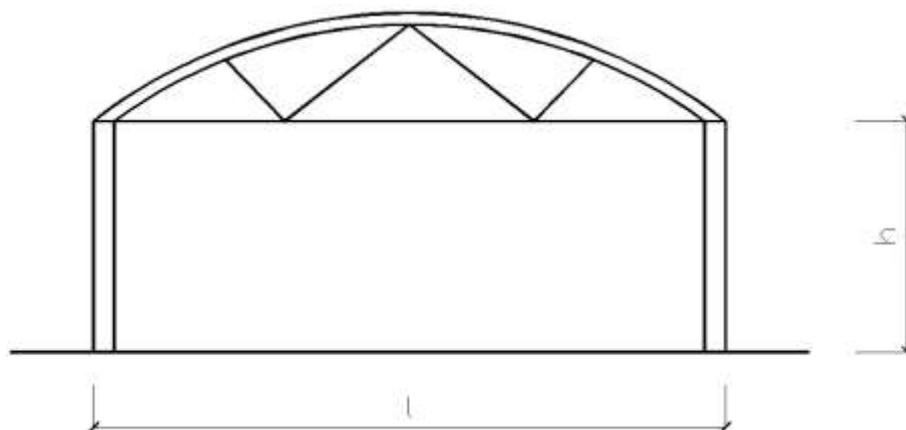


Рисунок 3.17 – Расчетная схема к вариантам 81–90, 133-136.
Система «Колонна – сегментная металлодеревянная ферма
с дощатоклеевым верхним поясом кругового очертания»

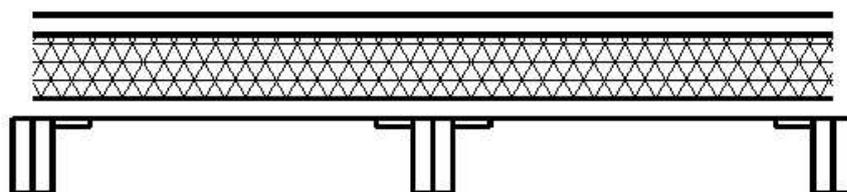


Рисунок 3.18 – Тип покрытия к вариантам 81–90, 133-136: дощатый настил по неразрезным прогонам из спаренных досок под рулонную кровлю утепленного покрытия

Таблица 3.11 – Исходные данные к вариантам 91–100, 137-140

ВАРИАНТ	ПРОЛЁТ, l	ШАГ КОНСТРУКЦИИ, B	ВЫСОТА, h	РАЙОН СТРОИТЕЛЬСТВА
91	42	4,5	22	Архангельск
92	54	4,5	30	Новороссийск
93	18	6	9	Краснодар
94	21	6	10	Саратов
95	45	4,5	25	Самара
96	24	4,5	14	Пермь
97	42	4,5	22	Тикси
98	30	6	15	Белгород
99	36	6	18	Москва
100	33	4,5	16	СЫКТЫВКАР
137	10	5,5	4	Архангельск
138	14	6,5	4,5	Новороссийск
139	16	3,5	5	Краснодар
140	18	4,5	5,5	Саратов

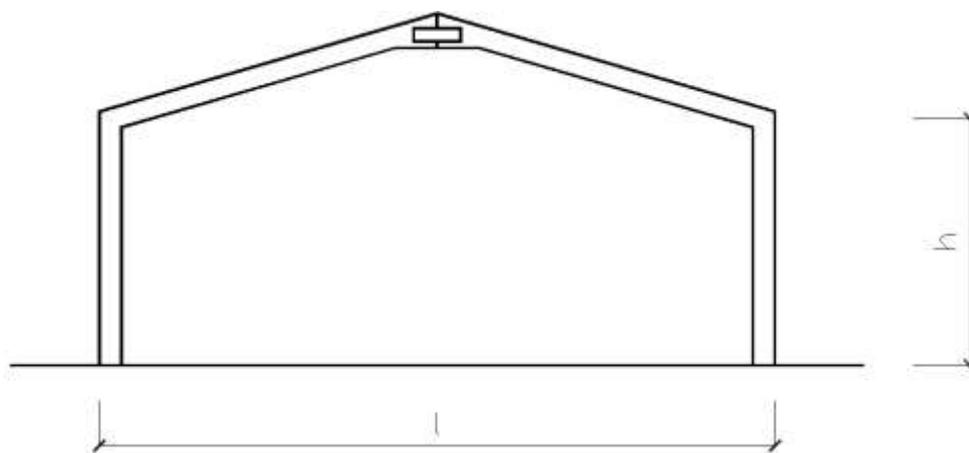


Рисунок 3.19 – Расчетная схема к вариантам 91–100, 137-140.
Система «дощатоклееная рама»

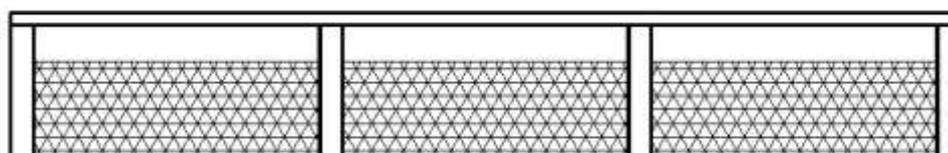


Рисунок 3.20 – Тип покрытия к вариантам 91–100, 137-140:
утеплённая клефанерная плита под рубероидную кровлю

4 ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Основные этапы развития конструкций из дерева и пластмасс
2. Конструкционная древесина. Лесоматериалы
3. Свойства древесины, как конструкционного материала
4. Гниение и горение древесины
5. Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям
6. Расчет растянутых деревянных элементов
7. Расчет сжатых деревянных элементов
8. Расчет изгибаемых деревянных элементов
9. Расчет косо-, сжато- и растянуто-изгибаемых элементов
10. Смятие и скалывание древесины
11. Соединения на лобовых врубках
12. Нагельные соединения
13. Гвоздевые соединения
14. Соединения на растянутых связях
15. Соединения деревянных элементов на шпонках, шайбах, МЗП
16. Соединения на клеях
17. Настилы. Типы и расчет
18. Составные балки на податливых связях
19. Типы клееных балок. Особенности проектирования и расчета
20. Балки и прогоны. Типы, проектирование и расчет
21. Клеедеревянные балки. Типы, конструирование, расчет
22. Болтовые соединения
23. Деревянные колонны. Типы и расчет
24. Деревянные арки. Конструкции и применение
25. Деревянные арки. Особенности расчета
26. Деревянные рамы. Конструкции и применение
27. Рамы. Особенности расчета
28. Фермы. Конструкции и узлы
29. Расчет деревянных ферм
30. Пространственные деревянные конструкции
31. Мачты, башни, леса и кружала
32. Изготовление деревянных конструкций и деталей в строительстве
33. Эксплуатация деревянных конструкций
34. Конструкционные пластмассы. Виды, применение
35. Расчет конструкций с применением пластмасс. Виды и особенности
36. Усиление деревянных конструкций
37. Пневматические строительные конструкции
38. Связи конструкций из дерева
39. Деревянные фермы. Конструкции и узлы
40. Особенности расчета деревянных рам
41. Усиление деревянных конструкций
42. Нагельные соединения

43. Расчет деревянных арок
44. Деревянные балки
45. Расчет сжато- и растянуто-изгибаемых элементов
46. Клеедеревянные балки. Конструкции и узлы.
47. Расчет деревянных арок
48. Деревянные настилы
49. Расчет растянутых деревянных элементов
50. Расчет деревянных ферм
51. Гвоздевые соединения. Расстановка гвоздей в соединениях. Расчет
52. Конструкционные пластмассы. Виды и применение
53. Деревянные балки. Конструкции и расчет.
54. Эксплуатация деревянных конструкций
55. Клеедеревянные балки. Типы, конструирование и расчет
56. Нагельные соединения
57. Конструкции и узлы деревянных ферм
58. Ветровые воздействия
59. Пневматические конструкции. Особенности проектирования
60. Вантовые конструкции. Особенности проектирования

5 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные этапы развития конструкций из дерева и пластмасс
2. Конструкционная древесина. Лесоматериалы
3. Свойства древесины, как конструкционного материала
4. Гниение и горение древесины
5. Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям
6. Расчет растянутых деревянных элементов
7. Расчет сжатых деревянных элементов
8. Расчет изгибаемых деревянных элементов
9. Расчет косо-, сжато- и растянуто-изгибаемых элементов
10. Смятие и скалывание древесины
11. Соединения на лобовых врубках
12. Нагельные соединения
13. Гвоздевые соединения
14. Соединения на растянутых связях
15. Соединения деревянных элементов на шпонках, шайбах, МЗП
16. Соединения на клеях
17. Настилы. Типы и расчет
18. Составные балки на податливых связях
19. Типы клееных балок. Особенности проектирования и расчета
20. Балки и прогоны. Типы, проектирование и расчет
21. Клеедеревянные балки. Типы, конструирование, расчет
22. Болтовые соединения
23. Деревянные колонны. Типы и расчет
24. Деревянные арки. Конструкции и применение
25. Деревянные арки. Особенности расчета
26. Деревянные рамы. Конструкции и применение
27. Рамы. Особенности расчета
28. Фермы. Конструкции и узлы
29. Расчет деревянных ферм
30. Пространственные деревянные конструкции
31. Мачты, башни, леса и кружала
32. Изготовление деревянных конструкций и деталей в строительстве
33. Эксплуатация деревянных конструкций
34. Конструкционные пластмассы. Виды, применение
35. Расчет конструкций с применением пластмасс. Виды и особенности
36. Усиление деревянных конструкций
37. Пневматические строительные конструкции
38. Связи конструкций из дерева
39. Деревянные фермы. Конструкции и узлы
40. Особенности расчета деревянных рам
41. Усиление деревянных конструкций
42. Нагельные соединения

43. Расчет деревянных арок
44. Деревянные балки
45. Расчет сжато- и растянуто-изгибаемых элементов
46. Клеедеревянные балки. Конструкции и узлы.
47. Расчет деревянных арок
48. Деревянные настилы
49. Расчет растянутых деревянных элементов
50. Расчет деревянных ферм
51. Гвоздевые соединения. Расстановка гвоздей в соединениях. Расчет
52. Конструкционные пластмассы. Виды и применение
53. Деревянные балки. Конструкции и расчет.
54. Эксплуатация деревянных конструкций
55. Клеедеревянные балки. Типы, конструирование и расчет
56. Нагельные соединения
57. Конструкции и узлы деревянных ферм
58. Ветровые воздействия
59. Пневматические конструкции. Особенности проектирования
60. Вантовые конструкции. Особенности проектирования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 64.13330.2019. Нормы проектирования. Деревянные конструкции. – М., 2011.
2. СП 20.13330.2019. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия. – М. : Министерство строительства Российской Федерации, 2019.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1986. – 215 с.
4. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Слицкоухов, И. М. Гуськов, Л. К. Ермоленко [и др]. под ред. Ю. В. Слицкоухова. – М. : Стройиздат, 1991. – 256 с.
5. Улицкая Э. М. Расчет конструкций из дерева и пластмасс. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие для строительных вузов / Улицкая Э. М. [и др]. М. : Высшая школа, 1996. – 159 с.
6. Вдовин В. М. Сборник задач и практические методы их решения по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» : учеб. пособие / В. М. Вдовин, В. Н. Карпов. – М. : АСВ, 2004. – 144 с.
7. Арленинов Д. К. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник для техн. вузов / Д. К. Арленинов, Ю. Н. Буслаев, В. П. Игнатьев, П. Г. Романов, Д. К. Чахов. – М. : Изд-во. АСВ, 2002. – 280 с.
8. Конструкции из дерева и пластмасс : учеб. пособие для студ. вузов / Г. Н. Зубарев, Ф. А. Бойтемиров, В. М. Головина, В. И. Ковликов, Э. М. Улицкая; под ред. Ю. Н. Хромца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 304 с.
9. Проектирование и расчет деревянных конструкций : справочник / И. М. Гринь, В. В. Фурсов, Д. М. Бабушкин [и др.]; под ред. И. М. Гриня. – Киев : Будивэльнык, 1988. – 240 с.
10. Каленик В. В. Применение древесины в современном строительстве / В. В. Каленик, Д. С. Кравченко, Д. В. Лейер // Научное обеспечение АПК : сб. статей по материалам X Всерос. кон. молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко. 29–30 ноября 2016 г. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – С. 1058–1059.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1 – Сортамент пиломатериалов (ГОСТ 8486-86*Е)

Толщина, мм	Ширина, мм								
	75	100	125	150	-	-	-	-	-
16	75	100	125	150	-	-	-	-	-
19	75	100	125	150	175	-	-	-	-
22	75	100	125	150	175	200	225	-	-
25	75	100	125	150	175	200	225	250	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	-	100	125	150	175	200	225	250	275
125	-	-	125	150	175	200	225	250	-
150	-	-	-	150	175	200	225	250	-
175	-	-	-	-	175	200	225	250	-
200	-	-	-	-	-	200	225	250	-
250	-	-	-	-	-	-	-	250	-

Примечание. При необходимости могут быть изготовлены брусковые заготовки с размерами, получаемыми путем распиловки досок на несколько равных частей, согласно ГОСТ 9685-61*.

Таблица 2 – Сортамент и плотность фанеры

Наименование материала	Размеры, мм			Плотность, кгс/м ³	ГОСТ
	Длина	Ширина	Толщина		
Строительная фанера марок ФСФ и ФК	2440	1525	1.5; 2; 2.5	700	3916-69
	2440	1220	3		
	2135	1525	4		
	1830	1220	5		
	1525	1525	6, 7, 8, 9, 10		
		1220	12		
		725			
	1220	1220	15, 18, 19		
		725			
		1500	5		
Бакелизированная фанера марки ФСБ		1500	7	1010	11539-65
	4400	1500	10		
	4900	1250	12		
	5000	1200	14		
	5600	1500	16		
	1200				

Таблица 3 – Расчетные сопротивления сосны и ели

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах “б”, “в”) высотой до 50 см; б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см; в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см; г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчётном сечении	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	14	13	8.5
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	15	14	10
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	16	15	11
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	-	16	10
2. Растяжение вдоль волокон: а) неклееные элементы; б) клееные элементы	R_p	10	7	-
	R_p	12	9	-
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{с90}, R_{см90}$	1.8	1.8	1.8
4. Смятие поперек волокон местное: а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов; б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60.	$R_{см90}$	3	3	3
	$R_{см90}$	4	4	4
5. Скалывание вдоль волокон: а) при изгибе неклееных элементов; б) при изгибе клееных элементов; в) в лобовых врубках для максимального напряжения; г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}$	1.8	1.6	1.6
	$R_{ск}$	1.6	1.5	1.5
	$R_{ск}$	2.4	2.1	2.1
	$R_{ск}$	2.1	2.1	2.1

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
		1	2	3
6. Скалывание поперек волокон: а) в соединениях неклееных элементов; б) в соединениях клееных элементов	$R_{ск90}$	1	0.8	0.6
	$R_{ск90}$	0.7	0.7	0.6
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R_{p90}	0.35	0.3	0.25

Таблица 4 – Переходные коэффициенты m_n

Древесные породы	Коэффициент m_n для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон R_p, R_u, R_c, R_{cm}	сжатию и смятию поперек волокон R_{c90}, R_{cm90}	скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1.2	1.2	1
2. Кедр сибирский, кроме кедра Красноярского края	0.9	0.9	0.9
3. Кедр Красноярского края, сосна веймутова	0.65	0.65	0.65
4. Пихта	0.8	0.8	0.8
Твердые лиственные			
5. Дуб	1.3	2	1.3
6. Ясень, клен, граб	1.3	2	1.6
7. Акация	1.5	2.2	1.8
8. Береза, бук	1.1	1.6	1.3
9. Вяз, ильм	1	1.6	1
Мягкие лиственные			
10. Ольха, липа, осина, тополь	0.8	1	0.8

Примечание. Коэффициенты m_n , указанные в таблице для конструкций опор воздушных линий электропередачи, изготавливаемых из не пропитанной антисептиками лиственницы (при влажности $\leq 25\%$), умножаются на коэффициент 0.85.

Таблица 5 – Значение коэффициентов m_b

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент m_b	1	0.96	0.93	0.90	0.85	0.8

Таблица 6 – Значение коэффициентов m_{cl}

Толщина слоя, мм	19 и менее	26	33	42
коэффициент m_{cl}	1.1	1.05	1	0.95

Таблица 7 – Расчетные сопротивления строительной фанеры

Вид фанеры	Расчетные сопротивления, МПа					
	растяжению в плоскости листа $R_{ф.р}$	сжатию в плоскости листа $R_{ф.с}$	изгибу из плоскости листа $R_{ф.и}$	скалыванию в плоскости листа $R_{ф.ск}$	срезу перпендикулярно плоскости листа $R_{ф.ср}$	
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С: а) семислойная толщиной 8 мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	14	12	16	0.8	6	
	9	8.5	6.5	0.8	6	
	4.5	7		0.8	9	
	б) пятислойная толщиной 5-7 мм: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	14	13	18	0.8	5
		6	7	3	0.8	6
		4	6		0.8	9
	2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ, сортов В/ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	9	17	18	0.6	5
		7.5	13	11	0.5	5
		3	5		0.7	7.5
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7 мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	32	28	33	1.8	11	
	24	23	25	1.8	12	
	16.5	21		1.8	16	

Примечание. Расчетное сопротивление смятию и сжатию перпендикулярно плоскости листа для березовой фанеры марки ФСФ $R_{ф.с.90} = R_{ф.см.90} = 4$ МПа и марки ФБС $R_{ф.с.90} R_{ф.см.90} = 8$ МПа.

Таблица 8 – Модули упругости E_{ϕ} , модули сдвига G_{ϕ} и коэффициенты Пуассона ν_{ϕ} для строительной фанеры

Вид фанеры	Модуль упругости E_{ϕ} , МПа	Модуль сдвига G_{ϕ} , МПа	Коэффициент Пуассона ν_{ϕ}
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С, семи-слойная и пятислойная: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	9000 6000 2500	750 750 3000	0.085 0.065 0.6
2. Фанера клееная из древесинылиственницы марки ФСФ, сортов В/ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	7000 5500 2000	800 800 2200	0.07 0.06 0.6
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	12000 8500 3500	1000 1000 4000	0.085 0.065 0.7

Примечание. Коэффициент Пуассона ν_{ϕ} указан для направления, перпендикулярного оси, вдоль которой определен модуль упругости E_{ϕ} .

Таблица 9 – Предельные деформации (прогибы) элементов зданий и сооружений

Элементы конструкций	Предельные прогибы в долях пролета, не более
1. Балки междуэтажных перекрытий	1/250
2. Балки чердачных перекрытий	1/200
3. Покрытия (кроме ендов): а) прогоны, стропильные ноги; б) балки консольные; в) фермы, клееные балки (кроме консольных); г) плиты; д) обрешетки, настилы	1/200 1/150 1/300 1/250 1/150
4. Несущие элементы ендов	1/400
5. Панели и элементы фахверка	1/250

Примечания к таблице 9: 1. При наличии штукатурки прогиб элементов перекрытий только от длительной временной нагрузки не должен превышать 1/350 пролёта. 2. При наличии строительного подъема предельный прогиб клееных балок допускается увеличивать до 1/200 пролета.

Таблица 10– Расчетная несущая способность для цилиндрических нагелей

Схемы соединений	Напряженное состояние соединений	Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН	
		гвоздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля	дубового нагеля
1. Симметричные соединения	а) смятие в средних элементах;	$0.5cd$	$0.3cd$
	б) смятие в крайних элементах	$0.8ad$	$0.5ad$
2. Несимметричные соединения	а) смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений;	$0.35cd$	$0.2cd$
	б) смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0.5c$;	$0.24cd$	$0.14cd$
	в) смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0.25c$;	$0.8ad$	$0.5ad$
	г) смятие в более тонких элементах односрезных соединений и крайних элементах при $c > a > 0.35c$	$k_n ad$	$k_n ad$
3. Симметричные и несимметричные соединения	а) изгиб гвоздя	$2.5d^2 + 0.01a^2$, но не более $4d^2$)	
	б) изгиб нагеля из стали С 38/23	$1.8d^2 + 0.02a^2$, но не более $2.5d^2$	
		$1.6d^2 + 0.02a^2$, но не более $2.2d^2$	
	в) изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д16 - Т	$1.45d^2 + 0.02a^2$, но не более $1.8d^2$	
	г) изгиб нагеля из стеклопластика АГ-4С	$0.8d^2 + 0.02a^2$, но не более d^2	
д) изгиб нагеля из древесно-слоистого пластика ДСПБ			
е) изгиб дубового нагеля			$0.45d^2 + 0.02a^2$, но не более d^2

Таблица 11 – Значения коэффициентов k_α для нагельных соединений

Угол, град	Коэффициент k_α				
	для стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм				для дубовых нагелей
	12	16	20	24	
30	0.95	0.9	0.9	0.9	1
60	0.75	0.7	0.65	0.6	0.8
90	0.7	0.6	0.55	0.5	0.7

Примечания к таблице 11.1. Значение k_α для промежуточных углов определяется интерполяцией. 2. При расчете однорезных соединений для более толстых элементов, работающих на смятие под углом, значение k_α следует умножить на дополнительный коэффициент 0.9 при $c/a < 1.5$ и на 0.75 при $c/a \geq 1.5$.

Таблица 12 – Сортамент и плотность строительной фанеры марки ФСФ

Размеры, мм			Плотность фанеры, кг/м ³	ГОСТ
длина	ширина	толщина		
1525	1525	6; 8; 9; 10; 12	Березовой – 700 Лиственничной – 650	3916-69*
	1220			
	725			
1220	15; 18; 19			
1500	1200	5; 7		
	1500			

Таблица 13 – Значения коэффициентов K_{ϕ} и $K_{жМ}$ для расчетов на устойчивость плоской формы деформирования

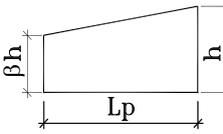
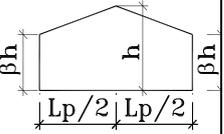
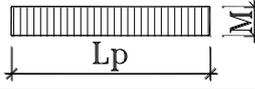
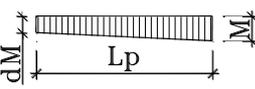
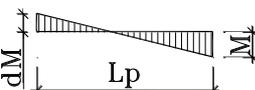
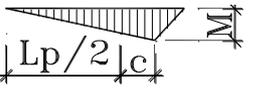
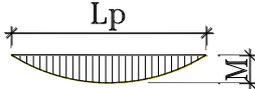
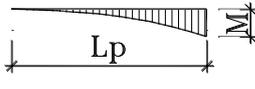
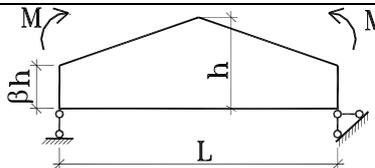
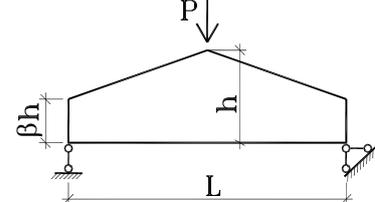
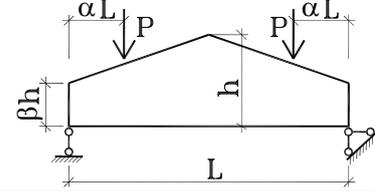
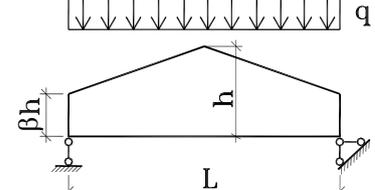
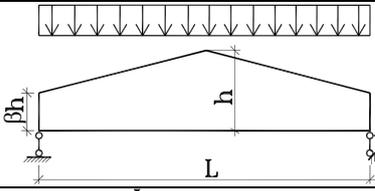
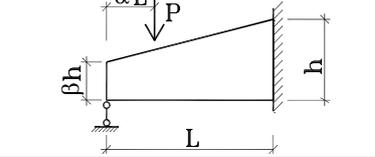
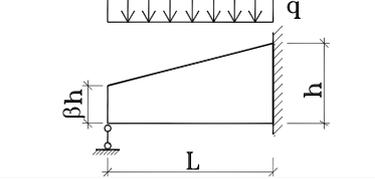
Форма эпюры моментов	K_{ϕ}		$K_{жМ}$	
	При закреплении только по концам участка l_p	При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке		
	1	1	$\beta^{1/2}$	$\beta^{1/2}$
	$1.75-0.75d$ $0 < d \leq 1$	$\frac{3}{2+d}$; $0 \leq d \leq 1$	$\frac{1}{\beta^{3-d}}$	$\beta^{1/2}$
	$2-(0.5+d)^2$ $-1 \leq d \leq 0$	$\frac{3}{2+d}$; $-2 < d \leq 0$	$\frac{1}{\beta^{3-d}}$	$\beta^{1/2}$
	$1.35+1.45(c/Lp)^2$	$1.35+0.3(c/Lp)$	$\frac{1}{\beta^{2+2c/Lp}}$	$\frac{1}{\beta^{3-2c/Lp}}$
	1.13	-1.13	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/5}$
	2.54	2.32	$\beta^{1/4}$	$\beta^{1/2}$

Таблица 14 – Значения коэффициентов k и c для вычисления прогибов балок с учетом переменности сечения и деформаций сдвига

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	k	c
Прямоугольное		β	0
То же		$0.23 + 0.77\beta$	$16.4 + 7.6\beta$
То же		$0.5\alpha + (1 - 0.5\alpha)\beta$	$[45 - 24\alpha(1 - \beta) + 3\beta] \times \frac{1}{3 - 4\alpha^2}$
То же		$0.15 + 0.85\beta$	$15.4 + 3.8\beta$
Двутавровое		$0.4 + 0.6\beta$	$(45.3 + 6.9\beta)\gamma$
Прямоугольное		$0.23 + 0.77\beta + 0.6\alpha(1 - \beta)$	$[8.2 + 2.4(1 - \beta)\alpha + 3.8\beta] \times \frac{1}{(2 + \alpha)(1 - \alpha)}$
То же		$0.35 + 0.65\beta$	$5.4 + 2.6\beta$

Примечание. γ – отношение площади поясов к площади стенки двутавровой балки (высота стенки принимается между центрами тяжести поясов).

Таблица 15 –Значения коэффициентов собственного веса $k_{св}$ для некоторых типов деревянных конструкций

Тип конструкции	Коэффициент собственного веса $k_{св}$
Свободно опертые однопролетные балки: <ul style="list-style-type: none"> – дощатоклееные прямоугольного сечени – клефанерные 	7,0 – 9,0 5,0 – 6,0
Стропильные фермы при внеузловой нагрузке: <ul style="list-style-type: none"> – треугольные деревянные – треугольные металлодеревянные – многоугольные деревянные – сегментные деревянные – сегментные металлодеревянные 	4,5 – 6 4 – 5 3,5 – 4,5 3,0 – 3,5 2,5 – 3,0
Трехшарнирные дощатоклееные арки прямоугольного сечения	2,5 – 4,0

Таблица 16 –Сортамент гвоздей

Диаметр стержня, мм	Длина гвоздя, мм
2,0	4,0
	4,5
2,2	4,5
	5,0
2,5	5,0
	6,0
3,0 – 3,5	70 – 90
1,0 – 5,0	100 – 150
0,5 – 0,8	175 – 250
0,7	7
0,8	9
0,9	12
1,0	15
1,2	20
	25
1,4	20 – 45
1,6	25 – 50
1,8	30 – 60

$R_{ф,р\alpha}$, МПа

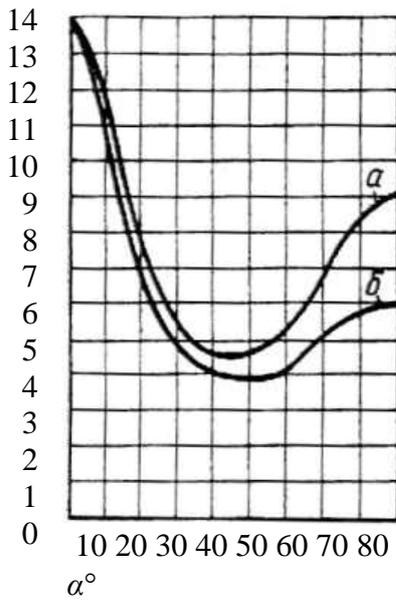
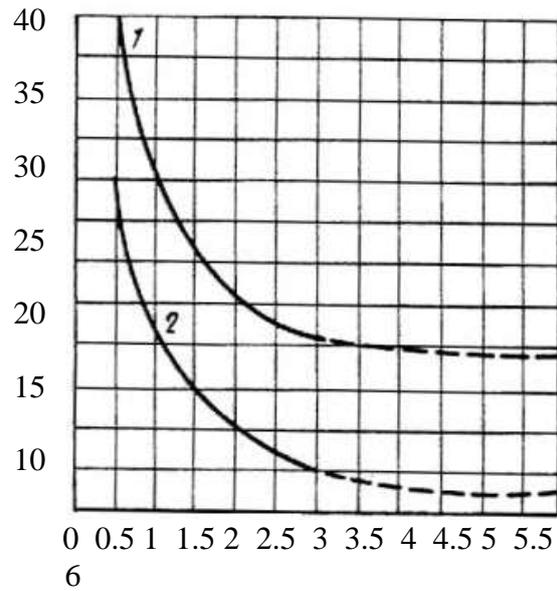


Рисунок П1 – Графики для определения расчетных сопротивлений при растяжении под углом α к волокнам наружных слоев березовой фанеры марки ФСФ:
а – семислойной;
б – пятислойной.

κ_u , МПа



$\gamma = a/h_{ст}$

Рисунок П2 – Графики для определения коэффициента κ_u при расположении волокон в наружных слоях фанеры вдоль пролета:
1 – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более;
2 – для березовой фанеры марки ФСФ толщиной 8 мм и более. Обозначение $\gamma = a/h_{ст}$ (a – расстояние между ребрами жесткости балки; $h_{ст}$ – высота стенки между внутренними гранями полок).

κ_z , МПа

$a < h_{ст}$ $a > h_{ст}$

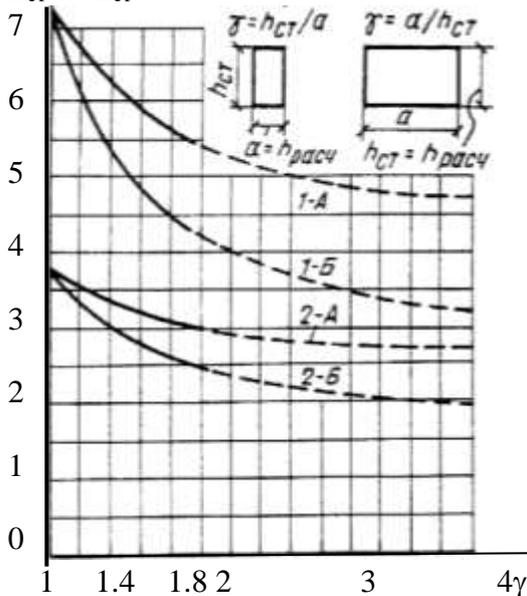


Рисунок П3 – Графики для определения κ_z :
1-А – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более при направлении волокон наружных слоев параллельно малой стороне панели;
1-Б – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более при направлении волокон наружных слоев перпендикулярно малой стороне панели;
2-А, 2-Б – то же, для березовой фанеры марки ФСФ толщиной 8 мм и более.

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические рекомендации

Составители: **Лейер** Дарья Валерьевна,
Рябухин Александр Константинович,
Маций Сергей Иосифович